

MÜHENDİSLİKTE GÜNCEL KONULAR

1

EDİTÖR
Doç. Dr. Hasan ŞAHİN



MÜHENDİSLİKTE GÜNCEL KONULAR

1

EDİTÖR

Doç. Dr. Hasan ŞAHİN

YAZARLAR

Doç. Dr. Hasan ŞAHİN

Öğr. Gör. Dr. Cenap GÜVEN

Öğr. Gör. Dr. Ersan KIRAR

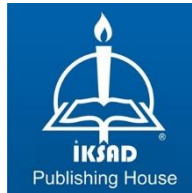
Öğr. Gör. Dr. Mustafa KAYTAN

Dr. Sümeyra CAN

Öğr. Gör. Cihan AYHANCI

Öğr. Gör. Fadile ŞEN

Öğr. Gör. Rüya AKINCI



Copyright © 2024 by iksad publishing house
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed
or transmitted in any form or by
any means, including photocopying, recording or other electronic or
mechanical methods, without the prior written permission of the publisher,
except in the case of
brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial
uses permitted by copyright law. Institution of Economic Development and
Social
Researches Publications®
(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)
TÜRKİYE TR: +90 342 606 06 75
USA: +1 631 685 0 853
E mail: iksadyayinevi@gmail.com
www.iksadyayinevi.com

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.
Iksad Publications – 2024©

ISBN: 978-625-367-812-8
Cover Design: İbrahim KAYA
August / 2024
Ankara / Türkiye
Size = 16 x 24 cm

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	1
BÖLÜM 1 TARIMDA GÜNCEL MÜHENDİSLİK UYGULAMALARI Doç. Dr. Hasan ŞAHİN.....	3
BÖLÜM 2 BİLİŞİM TEKNOLOJİLERİNDE GÜNCEL KONULAR Öğr. Gör. Dr. Mustafa KAYTAN.....	19
BÖLÜM 3 KOMPOZİT MALZEMELERİN KADEMELİ HASARININ SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE MODELLENMESİ Öğr. Gör. Dr. Ersan KIRAR.....	33
BÖLÜM 4 BEYİN BİLGİSAYAR ARAYÜZÜ TEKNOLOJİSİNİN KULLANIM ALANLARI Öğr. Gör. Rüya AKINCI.....	53
BÖLÜM 5 ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ALANINDA GÜNCEL KONULAR Öğr. Gör. Fadile ŞEN.....	69
BÖLÜM 6 GÜÇ SİSTEMLERİNDE DAYANIKLILIK KAVRAMINA GENEL BAKIŞ Öğr. Gör. Cihan AYHANCI.....	81
BÖLÜM 7 NANO MALZEMELERİN KOMPOZİTLERE ETKİSİ Öğr. Gör. Dr. Cenap GÜVEN.....	109
BÖLÜM 8 HAFİF NADİR TOPRAK ELEMENTLERİNİN UYGULAMA ALANLARI VE NANOTEKNOLOJİ ALANINDA DEĞERLENDİRİLMESİ Dr. Sümeyra CAN.....	123

Önsöz

Değerli Okurlar,

“Mühendislikte Güncel Konular” başlıklı bu eser, mühendislik disiplinlerinde yaşanan hızlı gelişmeleri ve yenilikleri derinlemesine inceleyen kapsamlı bir kaynak olarak hazırlanmıştır. Teknolojinin ve bilimin hızla ilerlediği günümüzde, mühendislik alanındaki güncel konulara dair bilgi sahibi olmak, hem akademik hem de uygulama alanlarında önemli bir gerekliliktir. Bu kitap, mühendislikteki bu dinamik gelişmeleri farklı bakış açılarıyla ele almayı amaçlamaktadır.

Kitabımızın ilk bölümü, Doç. Dr. Hasan ŞAHİN tarafından kaleme alınan “Tarımda Güncel Mühendislik Uygulamaları” başlığıyla tarım mühendisliğinde yaşanan yenilikleri ve uygulamaları kapsamlı bir şekilde ele almaktadır. Tarım sektörü, teknolojik gelişmelerle dönüşürken, bu bölüm tarımda mühendislik uygulamalarının güncel durumu hakkında önemli bilgiler sunmaktadır.

İkinci bölümde, Öğr. Gör. Dr. Mustafa KAYTAN’ın yazdığı “Bilişim Teknolojilerinde Güncel Konular” başlığı altında, bilişim teknolojilerindeki en son gelişmeler ve bu alandaki gelişmeler detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu bölüm, bilişim dünyasının hızla değişen yüzünü anlamak isteyenler için kıymetli bir kaynak sunmaktadır.

Üçüncü bölümde, Öğr. Gör. Dr. Ersan KIRAR, “Kompozit Malzemelerin Kademeli Hasarının Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Modellenmesi” konusunu ele alarak, kompozit malzemelerin hasar davranışlarının nasıl simüle edilebileceğine dair teknik ve teorik bir bakış açısı sunmaktadır. Bu bölüm, malzeme mühendisliği ve tasarımı alanında derinlemesine bir analiz sağlayacaktır.

Dördüncü bölümde, Öğr. Gör. Rüya AKINCI tarafından yazılan “Beyin Bilgisayar Arayüzü Teknolojisinin Kullanım Alanları”, beyin-bilgisayar arayüzlerinin sağlık ve diğer uygulama alanlarındaki potansiyelini incelemektedir. Bu bölüm, ileri düzey teknoloji ve insan etkileşiminin sınırlarını araştırmaktadır.

Beşinci bölüm, Öğr. Gör. Fadile ŞEN’in “Elektrik-Elektronik Mühendisliği Alanında Güncel Konular” başlıklı çalışmasıyla elektrik-elektronik mühendisliğinde karşılaşılan yeni zorlukları ve yenilikleri kapsamlı

bir şekilde ele almaktadır. Bu bölüm, mühendislik pratiği içinde karşılaşılan güncel sorunlara dair önemli bilgiler sunmaktadır.

Altıncı bölümde, Öğr. Gör. Cihan AYHANCI tarafından kaleme alınan “Güç Sistemlerinde Dayanıklılık Kavramına Genel Bakış” başlığı, güç sistemlerinin güvenilirliğini ve dayanıklılığını artırma yöntemlerine dair genel bir bakış sunmaktadır. Bu bölüm, enerji altyapısının sağlamlığına dair kritik bilgiler içermektedir.

Yedinci bölümde, Öğr. Gör. Dr. Cenap GÜVEN’in yazdığı “Nano Malzemelerin Kompozitlere Etkisi” başlığı altında, nano malzemelerin kompozit malzemeler üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu bölüm, nano teknoloji ve kompozit malzemeler arasındaki etkileşimi anlamak isteyenler için önemli bir kaynaktır.

Son olarak, sekizinci bölümde, Öğr. Gör. Dr. Sümeyra CAN tarafından yazılan “Hafif Nadir Toprak Elementlerinin Uygulama Alanları ve Nanoteknoloji Alanında Değerlendirilmesi” konusuyla, hafif nadir toprak elementlerinin uygulama alanları ve nanoteknolojideki rolü derinlemesine incelenmektedir. Bu bölüm, nadir toprak elementlerinin mühendislikteki yenilikçi uygulamaları hakkında bilgi vermektedir.

Bu kitap, mühendislik alanındaki en güncel gelişmeleri ve uygulamaları bir araya getirerek okuyucularına geniş bir perspektif sunmayı hedeflemektedir. Eserin her bir bölümü, ilgili konularda derinlemesine bilgi ve yenilikçi yaklaşımlar sağlayarak, mühendislik disiplinlerinin sürekli değişen doğasına ışık tutmaktadır.

Bu çalışmanın, mühendislik alanındaki araştırmalara ve uygulamalara katkıda bulunmasını umuyorum.

Saygılarımla,
Doç. Dr. Hasan ŞAHİN

BÖLÜM 1

TARIMDA GÜNCEL MÜHENDİSLİK UYGULAMALARI

Doç. Dr. Hasan ŞAHİN¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13647101>

¹ Harran Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye. hsahin@harran.edu.tr, ORCID: [0000-0002-3977-4252](https://orcid.org/0000-0002-3977-4252)

GİRİŞ

Dünya nüfusunun hızla artmasıyla birlikte gıda talebinin de artması, tarımsal üretimde yeni mühendislik yaklaşımlarını tetiklemiştir. Nüfusla birlikte artan gıda ihtiyacını karşılayabilmek için, tarımsal faaliyetlerde yeni mühendislik uygulamalarına olan ihtiyaç da artmaktadır. Bilgisayar, yazılım, robotik, otomotiv, enerji ve savunma sanayinde görülen yenilikler paralel olarak tarımsal uygulamalarda da görülmektedir. Bilgisayar ve yazılımda, Yapay Zekâ (AI), Derin Öğrenme (DL), siber güvenlik, Makine Öğrenmesi (ML) gibi konularda son dönemde çok sayıda çalışma yapılmaktadır (Kaytan ve Hanbay, 2017; Kaytan, 2017; Kaytan ve ark., 2020; Kaytan, 2022; Kaytan 2023). Ayrıca, malzeme mühendisliği (Güven et al., 2024) alanında yapılan kompozit malzeme çalışmaları (Kurt et al., 2018) ve tarımsal atıkların değerlendirilmesi ile ilgili yapılan biyokompozitler ile ilgili çalışmalar da güncel konular arasında yer almaktadır (Kırar et al., 2023; Kırar et al., 2024).

Tarımsal üretimde yaygın kullanılan mekatronik, elektrikli araç ve otomasyon teknolojileri (Akinci & Polat, 2019; Polat et al., 2021), yapılan yeni çalışmalarla yakın gelecekte daha çok yaygınlaşacaktır (Polat & Akinci, 2020; Polat et al., 2021).

Tarımsal üretimde en önemli girdilerin başında gelen enerji temininde süreklilik, güneş enerjisi ve verimlilik büyük önem arz etmektedir (Ayhanç & Kekezoğlu, 2022; Yoldas et al., 2017). Elektronik ve otomasyon sistemlerinin, şebeke, yüksek ve orta gerilim uygulamalarında yaşanan gelişmeler dolaylı olarak tarımsal enerji temininde olumlu katkılar sağlayacaktır (Sen et al., 2023). Malzeme bilimi ve imalatta uygulanan yeni yöntemlerle ilgili yapılan araştırmalar da kayda değer sonuçlar elde edilmektedir (Yavuz & Yildirim, 2023).

Son yıllarda nüfus artışıyla birlikte, tarım ve gıda ürünlerine olan talebin de artması tarımsal üretimde yeni mühendislik uygulamalarını zorunlu kılmıştır.

Tarımda güncel mühendislik uygulamaları şu başlıklarda ifade edilebilir;

1-Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Tarımsal Uygulamaları

Tarımsal üretimde kullanılan makinelerinin çoğu, ne yazık ki, sera gazı emisyonuna neden olan ve dolayısıyla iklim değişikliğini hızlandıran fosil yakıtlarla çalışmaktadır.

Bu tür çevresel zararları azaltmak için, güneş, rüzgâr, biyokütle, gelgit, jeotermal, küçük ölçekli hidroelektrik santralleri, biyoyakıtlar ve dalga enerjisi gibi yenilenebilir kaynaklarından daha çok faydalanmak gerekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları, tarım sektörü için büyük bir potansiyel barındırmaktadır. Bu potansiyelin açığa çıkarılması için, tarımda yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanımı teşvik edilmelidir. Sürdürülebilir tarım kavramı, ürün verimliliğini en üst düzeye çıkarırken, sınırlı doğal kaynakların kullanımını ve çevresel zararları da en aza indirmeyi hedefleyerek bu hassas dengeyi korumaya dayanır (Chel & Kaushik, 2011; Islam & Hossain, 2022; Kelley et al., 2010; Saleem, 2022).

Tarımsal üretimde yenilenebilir enerji kaynaklarının benimsenmesi, gıda güvenliği ve ekolojik tarım hedeflerine ulaşmakta önemli bir araç olarak rol oynamaktadır. Tarımda enerji arzı sorunları, ülkelerin gelişmişlik düzeyine, coğrafi konuma ve tarımsal uygulamalara bağlı olarak değişse de uluslararası önemli bir sorun olarak gündemdedir. Ancak, az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler, sınırlı altyapı, modern teknolojilere erişim yetersizliği ve el emeğine daha fazla bağımlı olmaları nedeniyle enerji kısıtlamaları sorunundan daha çok etkilenmektedir. Buna karşılık, gelişmiş ülkeler enerji kullanımını optimize etmek, emisyonları azaltmak ve yenilenebilir enerji çözümlerini tarımsal üretime entegre etmekle uğraşmaktadır. Güvenilir ve çevre dostu yenilenebilir enerji kaynaklarına ulaşmak için sektörünün yenilenebilir kaynaklarını benimseyerek kapsamlı bir dönüşüme ihtiyacı var. Tarımsal enerji arzındaki sorunlar, kırsal altyapı yetersizliği, sınırlı biyokütle kullanımı, fosil yakıtlara ve sulama için enerjiye aşırı bağımlılık gibi nedenlere bağlıdır. Yenilenebilir enerjinin tarımda kullanılması şebeke yükünün hafifletilmesine ve gıda güvenliği sorunlarına neden olan girdi maliyetlerinin azaltılmasına yardımcı olacaktır (Hernandez-Escobedo et al., 2023; Majeed et al., 2023; Pascaris et al., 2021).

Tarımsal Güneş Enerjisi Uygulamaları

Tarımsal üretime veya tarımsal ekipmanlara enerji temini amacıyla kullanılan farklı güneş enerjisi sistemleri mevcuttur. Bunlar;

Fotovoltaik Sistemler: Doğrudan güneş ışınları ile elektrik üreten sistemlerdir.

Solar Sıcak Su Sistemleri: Güneş enerjisini sıcak su eldesi için kullanan sistemlerdir.

Solar Elektrik Sistemleri: Güneş ışınlarının açığa çıkardığı ısıyı elektrik üretiminde kullanan sistemlerdir.

Pasif Solar Isınma ve Aydınlatma: Güneş enerjisi ile doğrudan ısıtma ve aydınlatma sağlayan sistemlerdir.

Solar Isıtma ve Soğutma Sistemleri: Güneş ısısını endüstriyel ve ticari uygulamalarda kullanan sistemlerdir.

Tarımsal Ürün Kurutma

Güneş enerjisinin en eski ve en sık kullanılan kullanım alanı, mahsullerin ve tahılların kurutulmasıdır. Bu tekniklerin dezavantajı, mahsullerin ve tahılların rüzgarla taşınan toz ve kirden kaynaklanan kirlenmenin yanı sıra kuşlardan, kemirgenlerden, rüzgârdan ve yağmurdan kaynaklanan hasarlara karşı savunmasız olmasıdır. Açık hava teknikleriyle karşılaştırıldığında, daha gelişmiş güneş enerjili kurutucular meyve ve tahılları korur, kayıpları azaltır, daha hızlı ve daha eşit şekilde kurutur ve daha kaliteli bir ürün sağlar. Bir güneş enerjili kurutucunun temel bileşenleri bir güneş kolektörü, ekranlı kurutma tepsiyi veya rafları ve bir mahfaza veya barakadır (Fudholi et al., 2010; Rizalman et al., 2023; Tiwari, 2016).

Ortam ve Su Isıtıcıları

Süt ürünleri ve hayvancılık ürünlerini içeren operasyonlar genellikle yüksek hava ve su ısıtma gereksinimlerine sahiptir. Hayvanların sağlığı için modern çiftliklerde hayvanların vücut sıcaklığının ve hava kalitesinin dikkatle izlenmesi gerekir. Bu yapılardaki toz, zehirli gaz ve nemden kurtulmak için iç havanın sık sık değiştirilmesi gerekir. Tüm bu enerji gereksinimleri için güneş enerjisi uygulamalarından faydalanmak mümkündür. Doğrudan güneş enerjisinden ısı eldesi veya fotovoltaik uygulamalarla elektrik temini ile ihtiyaç duyulan enerji sağlanabilmektedir (Gorjian et al., 2021, 2022; Hu, 2023; Manoj, 2022; Norton, 2022).

Su Pompalama

Mevcut bir güç bağlantısı olmayan alanlarda, Foto Voltaik (PV) su pompalama sistemleri tarımsal su temini için en uygun seçenektir. Uzak meralara su sağlamada da oldukça verimli sonuçlar elde edilmiştir. Basit PV güç sistemleri, güneş yokken pompaları doğrudan çalıştırdıkları için en çok ihtiyaç duyulan sıcak yaz aylarında en iyi performansı gösterirler. Su tanklarda tutulduğundan veya gün içinde kullanıldığı alanlara borularla taşındığından genellikle aküye gerek duyulmaz. Daha büyük pompalama sistemlerinde ise, aküler, invertörler ve güneş takip modülü ile kullanılır (Acosta-Silva et al., 2019; Gorjian et al., 2021; Hu, 2023; Kussul et al., 2022).

Bu nedenle sürdürülebilir tarım için yenilenebilir enerji kaynaklarının, fotovoltaiik su pompaları, fotovoltaiik elektrik üretimi, sera teknolojileri, hasat sonrası işleme için güneş enerjili kurutucular ve güneş enerjili sıcak su ısıtıcıları gibi uygulamalarda kullanılmasının teşvik edilmesi gerekmektedir (Fudholi et al., 2010; Hu, 2023; Manoj, 2022).

2-Robotik Uygulamalar

Günümüzde geliştirilmekte olan tarımsal robotlar, temel olarak aşağıdaki ana bileşenleri içermektedir. Bu bileşenler; bir navigasyon sistemi (GPS), yapay görüş sistemi, bir kontrol sistemi, iletişim bileşenleri, gerekli bileşenlerle donatılmış bir bilgisayar, bir güvenlik sistemi ve uyarlanabilir bir öğrenme sistemidir. Çoğu robotik uygulamada, navigasyon ve ortamın dijital olarak yeniden yapılandırılması için LIDAR (Laser Imaging Detection and Ranging) teknolojisi kullanılmaktadır (Albiero, 2019; Auat Cheein & Carelli, 2013; Grimstad & From, 2017).

Tarımsal robotik sistemler, gerçekleştirilen işlemlere bağlı olarak özel ve çok yönlü robotlar olarak sınıflandırılabilir. Özel robotik sistemler, bir veya daha fazla ürün için (örneğin yabancı hardal otlarının temizlenmesi) yalnızca tek bir işlem adımını gerçekleştirmek üzere tasarlanmıştır. Özel robotik sistemler, birden fazla ürün için tek bir proses adımını gerçekleştirmek üzere tasarlanmıştır (tarımsal ilaçlama gibi) (Starostin et al., 2023) .

Yapılan tarımsal operasyonların türüne göre en çok kullanılan robot kategorileri; yabancı ot temizleme robotları (%23), çok işlevli robotlar (%18) ve hasat robotları (%15) olurken, en az kullanılanlar ise robotlar ise budama (%3),

ekim (%8), zararlıların ve hastalıkların tespiti (%8) ve fenotipleme (%8) için tasarlanmış robotlardır. Robotik sistemlerin büyük çoğunluğu tamamen bağımsızdır ve verilen görevleri insan müdahalesi olmadan çözüme yeteneğine sahiptir. %20 lik bir kısmı ise bazı işlevleri otomatik modda bağımsız olarak gerçekleştirebilirken, işlevlerin bir kısmının insanlar tarafından gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Tarımsal robotik sistem üreticilerinin çoğu, robotlar için mobil platformlar tasarlarken, bir kısmında da elektrikli tahrikli veya içten yanmalı motorlar tercih etmektedir (Adabara et al., 2019; Albiero, 2019; Amend et al., 2019; Atefi et al., 2021; Gai et al., 2021; Gené-Mola et al., 2019; Gunko et al., 2019; Izmailov, 2019).

3-Kimyasal Olmayan Yabancı Ot Kontrol Yöntemleri

Tarımsal faaliyetlerde yaygın olarak kullanılan kimyasallar çevreyi ve insan sağlığını tehdit etmektedir. Fiziksel mücadele yöntemlerinin (Sahin, 2020) uygulanmasının zorluğu, çiftçileri kimyasal (herbisit) kullanımına itmektedir. Diğer taraftan, birçok ülkede çevre dostu olmayan bu tip kimyasallarının kullanımına ilişkin kısıtlamalar getirilmesi de çevre dostu yabancı ot mücadele yöntemlerine olan ilgiyi artırmıştır (Hussain et al., 2016). Günümüzde yabancı ot kontrolüne yönelik yapay sinir ağları ve robotik teknolojiler de dahil olmak üzere pek çok yeni yaklaşım bulunmaktadır (Monteiro et al., 2021). Tarım alanında istenmeyen yabancı otların en aza indirilmesi ve ürün veriminin artırılması için sürdürülebilir ve uzun vadeli bir strateji gerekmektedir (Brand vd., 2007). Susam gibi birçok tarım ürününde önemli kayıplara neden olan yabancı otların kimyasal olmayan çevresel yöntemler kullanılarak kaybının azaltılması önemlidir (Lins vd., 2019). Tarım alanlarında yüksek teknoloji kullanımının yabancı otların görülme sıklığını da azalttığını gösteren çalışmalar yapılmıştır (Werle ve ark., 2021). Ayrıca tarımsal yabancı ot kontrolünde herbisitlerin yaygın olarak kullanılması, istenmeyen bitkilerin her türlü herbisite karşı direnç geliştirmesine neden olmuştur. Bu, elektrikli/mekanik yabancı ot yönetimi stratejisinde elektrikli/mekanik yabancı ot kontrolü yöntemlerine yönelimi artırmıştır (Khan ve diğerleri, 2021).

Elektrik akımı (Sahin, 2021, 2022) ve mikrodalganın yabancı ot kontrol yöntemi olarak kullanılmasına (Şahin, 2021; Sahin, 2022; Sahin & Sağlam, 2015) yönelik çok sayıda deneysel çalışma yapılmış ve umut verici sonuçlar elde edilmiştir. Mekanik, fiziksel ve kimyasal yabancı ot kontrol yöntemlerini

karşılaştırarak hangi yöntemin hangi yabancı ot kontrolüne daha uygun olduğunu bilmek de önemlidir (Faleiro ve ark., 2022).

4-Görüntü İşleme Uygulamaları

Geçtiğimiz birkaç on yılda, bilgisayarlı görüntü denetim sistemleri tarımsal faaliyetlerde önemli araçlar haline gelmiş ve kullanımları büyük ölçüde artmıştır (Gao et al., 2020; Li et al., 2021). Bilgisayarlı görüntü algoritmalarına dayalı uzman ve akıllı sistemler, tarımsal üretim yönetiminin ortak bir parçası haline gelmiştir. Bilgisayarlı görüntü tabanlı tarımsal otomasyon teknolojileri, tarımda verimliliği artırmak için giderek daha fazla kullanılmaktadır (Chebrolu et al., 2018; Fawakherji et al., 2019).

Görüntü işleme teknolojileri, ürün sınıflandırma, yabancı ot tanıma, hastalık tespiti, ürün olgunlaşma düzeyi tespiti, zararlı tespiti gibi uygulamalarla tarımsal üretime katkı sunmaktadır (Ho et al., 2016; Pérez et al., 2000; Sarker & Kim, 2019). Ayrıca, tarlada dağınık halde yetişen yabancı otların ve türlerinin tespit edilerek ve bölgesel ilaçlama yapılması tarımsal kimyasal kullanımını azaltarak önemli çevresel avantajlar sağlamaktadır (Demilie, 2024; Vishnoi et al., 2021).

5-Yapay Zekâ (AI) ve Makine Öğrenmesi (ML) Uygulamaları

Artan küresel nüfus ve dünya çapında artan gıda talebinin yanı sıra hava koşullarındaki değişiklikler ve su kaynaklarının azalması nedeniyle, yapay zekâ (AI), ses tanıma ve makine görüşü, tarım sektöründe birçok işlemde kullanılmaya başlanmıştır.

Araştırmacılar ve bilim insanları artık çiftçilerin tohum ıslahı, bitki koruma ve gübrelerin geliştirilmesinde yapay zekâ ve nesnelerin interneti (IoT) teknolojilerinden yararlanmaya doğru ilerlemektedir. Bu uygulamalar, kısa vadede çiftçilerin karlılığını ve ülkenin genel ekonomisini iyileştirebilecek güçtedir. Yapay zekâ tarımda üç ana kategoride ortaya çıkıyor: toprak ve mahsul izleme, tahmine dayalı analitik ve tarımsal robotik.

Bu bağlamda çiftçiler, çiftlik yönetim sistemleri tarafından kullanılacak verileri toplamak için sensörlerin ve toprak örneklemesinin kullanımını giderek daha fazla benimsiyor (Ayoub Shaikh et al., 2022; Zhou et al., 2022).

Makine öğrenmesi (ML), Nesnelerin İnterneti (IoT), görüntü işleme ve bilgisayarlı görme gibi tarım endüstrisinde kullanılan tüm yapay zekâ yöntemlerinin (Kaytan et al., 2022) tartışılması da dahil olmak üzere tarım

sektöründe bir hareketlenme gözlenmektedir. Ayrıca yapay zekâ uygulamalarının tarımsal üretimde kalite, üretkenlik ve sürdürülebilirliğin korunması gibi avantajlar sağlayacağı gerçeği de bu süreci hızlandırmaktadır (Demilie, 2024; Kumar et al., 2022; Song, 2014; Vishnoi et al., 2021).

Yapay zekâ, çiftçilere bu teknolojilerin uygulamaları konusunda önemli kolaylıklar sağlamaktadır. Tahmine dayalı analizler ve iyileştirilmiş çiftlik ve mahsul yönetimi sistemleri, mahsul kalitesi ve tedariki gibi konularda oldukça önemli avantajlar sağlamaktadır. Uydu fotoğrafları ve meteorolojik bilgiler sayesinde işletmeler gerçek zamanlı olarak ekim alanlarını takip edebilmektedir. Tarımsal ürün fiyatlandırmasını tahmin etmek için büyük veri, yapay zekâ ve makine öğrenmesi gibi teknolojiler artık rahatlıkla kullanılmaktadır. Ürün verimi, zararlı ve hastalıkların belirlenmesi, doğru ve yeterli pestisit kullanımı gibi konularda da çiftçilere tavsiyelerde bulunabilmektedir. Yapay zekâ, kaynak ve iş gücü sorunlarını önemli ölçüde azalttığı için, orta ve büyük ölçekli işletmelerin modern tarımın artan karmaşıklığıyla başa çıkabilmeleri için, yapay zekâ, makine görüşü, tarımsal robotik ve nesnelerin interneti gibi alanlara yatırım yapması kaçınılmaz hale gelmiştir (Bera et al., 2022; Moysiadis et al., 2021; Pedersen & Lind, 2017).

KAYNAKÇA

- Acosta-Silva, Y. de J., Torres-Pacheco, I., Matsumoto, Y., Toledano-Ayala, M., Soto-Zarazúa, G. M., Zelaya-Ángel, O., & Méndez-López, A. (2019). Applications of solar and wind renewable energy in agriculture: A review. *Science Progress*, 102(2). <https://doi.org/10.1177/0036850419832696>
- Adabara, I., Hiriji, N., Emmanuel, O., Alkasim, S. M., & Zaina, K. (2019). Intelligent Embedded Agricultural Robotic System. *International Journal of Engineering and Information Systems (IJEAIS)*, 3(1).
- Akinci, R., & Polat, M. (2019). Design and Optimization with Genetic Algorithm of Double Rotor Axial Flux Permanent Magnet Synchronous Motor (TORUS Type) for Electrical Vehicles. *Proceedings - 2019 4th International Conference on Power Electronics and Their Applications, ICPEA 2019*. <https://doi.org/10.1109/ICPEA1.2019.8911175>
- Albiero, D. (2019). Agricultural Robotics: A Promising Challenge. *Current Agriculture Research Journal*, 7(1). <https://doi.org/10.12944/carj.7.1.01>
- Amend, S., Brandt, D., Di Marco, D., Dipper, T., Gässler, G., Höferlin, M., Gohlke, M., Kesenheimer, K., Lindner, P., Leidenfrost, R., Michaels, A., Mugele, T., Müller, A., Riffel, T., Sampangi, Y., & Winkler, J. (2019). Weed Management of the Future. *KI - Künstliche Intelligenz*, 33(4). <https://doi.org/10.1007/s13218-019-00617-x>
- Atefi, A., Ge, Y., Pitla, S., & Schnable, J. (2021). Robotic Technologies for High-Throughput Plant Phenotyping: Contemporary Reviews and Future Perspectives. In *Frontiers in Plant Science* (Vol. 12). <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.611940>
- Auat Cheein, F. A., & Carelli, R. (2013). Agricultural robotics: Unmanned robotic service units in agricultural tasks. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 7(3). <https://doi.org/10.1109/MIE.2013.2252957>
- Ayhancı, C., & Kekezoğlu, B. (2022). Güç Sisteminin Tam Çökmesi Sonrasında Yeniden Başlatma Özellikli Güç Üretim Santrallerinin Sistem Restorasyonundaki Önemi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 7(2). <https://doi.org/10.46578/humder.1098164>
- Ayoub Shaikh, T., Rasool, T., & Rasheed Lone, F. (2022). Towards leveraging the role of machine learning and artificial intelligence in precision

- agriculture and smart farming. In *Computers and Electronics in Agriculture* (Vol. 198). <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107119>
- Bera, B., Vangala, A., Das, A. K., Lorenz, P., & Khan, M. K. (2022). Private blockchain-envisioned drones-assisted authentication scheme in IoT-enabled agricultural environment. *Computer Standards and Interfaces*, 80. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2021.103567>
- Chebrolu, N., Labe, T., & Stachniss, C. (2018). Robust long-term registration of UAV images of crop fields for precision agriculture. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 3(4), 3097–3104. <https://doi.org/10.1109/LRA.2018.2849603>
- Chel, A., & Kaushik, G. (2011). Renewable energy for sustainable agriculture Chel, Kaushik. Renewable energy for sustainable agriculture. *Agronomy for Sustainable Development*, 31(1).
- Demilie, W. B. (2024). Plant disease detection and classification techniques: a comparative study of the performances. *Journal of Big Data*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s40537-023-00863-9>
- Fawakherji, M., Youssef, A., Bloisi, D., Preto, A., & Nardi, D. (2019). Crop and Weeds Classification for Precision Agriculture Using Context-Independent Pixel-Wise Segmentation. *Proceedings - 3rd IEEE International Conference on Robotic Computing, IRC 2019*, 146–152. <https://doi.org/10.1109/IRC.2019.00029>
- Fudholi, A., Sopian, K., Ruslan, M. H., Alghoul, M. A., & Sulaiman, M. Y. (2010). Review of solar dryers for agricultural and marine products. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 14, Issue 1). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.032>
- Gai, J., Xiang, L., & Tang, L. (2021). Using a depth camera for crop row detection and mapping for under-canopy navigation of agricultural robotic vehicle. *Computers and Electronics in Agriculture*, 188. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106301>
- Gao, J., French, A. P., Pound, M. P., He, Y., Pridmore, T. P., & Pieters, J. G. (2020). Deep convolutional neural networks for image-based *Convolvulus sepium* detection in sugar beet fields. *Plant Methods*, 16(1). <https://doi.org/10.1186/S13007-020-00570-Z>
- Gené-Mola, J., Gregorio, E., Guevara, J., Auat, F., Sanz-Cortiella, R., Escolà, A., Llorens, J., Morros, J. R., Ruiz-Hidalgo, J., Vilaplana, V., & Rosell-

- Polo, J. R. (2019). Fruit detection in an apple orchard using a mobile terrestrial laser scanner. *Biosystems Engineering*, 187. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.08.017>
- Gorjian, S., Ebadi, H., Trommsdorff, M., Sharon, H., Demant, M., & Schindele, S. (2021). The advent of modern solar-powered electric agricultural machinery: A solution for sustainable farm operations. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 292). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126030>
- Gorjian, S., Kamrani, F., Fakhraei, O., Samadi, H., & Emami, P. (2022). Emerging applications of solar energy in agriculture and aquaculture systems. In *Solar Energy Advancements in Agriculture and Food Production Systems*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89866-9.00008-0>
- Grimstad, L., & From, P. J. (2017). The Thorvald II agricultural robotic system. *Robotics*, 6(4). <https://doi.org/10.3390/robotics6040024>
- Gunko, I., Zavalniuk, P., & Yemchyk, V. (2019). Agricultural Robotic Machines In Educational Farms Unpk “All-Ukrainian Educational And Scientific Consortium.” *Engineering, Energy, Transport Aic*, 1(104). <https://doi.org/10.37128/2520-6168-2019-1-2>
- Güven, C., Kisa, M., Demircan, G., Ozen, M., & Kirar, E. (2024). Effect of seawater aging on mechanical, buckling, structural, and thermal properties of nano Al₂O₃ and TiO₂-doped glass-epoxy nanocomposites. *Polymer Composites*. <https://doi.org/10.1002/pc.28273>
- Hernandez-Escobedo, Q., Muñoz-Rodríguez, D., Vargas-Casillas, A., Juárez Lopez, J. M., Aparicio-Martínez, P., Martínez-Jiménez, M. P., & Perea-Moreno, A. J. (2023). Renewable Energies in the Agricultural Sector: A Perspective Analysis of the Last Three Years. *Energies*, 16(1). <https://doi.org/10.3390/en16010345>
- Ho, D., Minh, T., Ienco, D., Gaetano, R., Lalande, N., Ndikumana, E., Osman, F., & Maurel, P. (2016). *Deep Recurrent Neural Networks for mapping winter vegetation quality coverage via multi-temporal SAR Sentinel-1*. 1–7.
- Hu, Z. (2023). Towards solar extractivism? A political ecology understanding of the solar energy and agriculture boom in rural China. *Energy*

- Research and Social Science*, 98.
<https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.102988>
- Hussain, Z., Khan, M. A., Ilyas, M., Luqman, & Khan, I. A. (2016). Non-chemical weed management in potato at higher elevations. *Applied Ecology and Environmental Research*, 14(5).
https://doi.org/10.15666/aer/1405_067076
- Islam, M. T., & Hossain, M. E. (2022). Economic feasibility of solar irrigation pumps: A study of northern bangladesh. *International Journal of Renewable Energy Development*, 11(1).
<https://doi.org/10.14710/IJRED.2022.38469>
- Izmailov, A. Y. (2019). Intelligent Technologies and Robotic Means in Agricultural Production. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 89(2). <https://doi.org/10.1134/S1019331619020072>
- Kaytan, M., & Aydılek, İ. B. (2017). *A review on machine learning tools*.
<https://doi.org/10.1109/idap.2017.8090257>
- Kaytan, M., Aydılek, İ. B., & Yeroğlu, C. (2023). Gish: a novel activation function for image classification. *Neural Computing and Applications*, 35(34). <https://doi.org/10.1007/s00521-023-09035-5>
- Kaytan, M., Aydılek, İ. B., Yeroğlu, C., & Karci, A. (2022). Sigmoid-Gumbel: Yeni Bir Hibrit Aktivasyon Fonksiyonu. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(1). <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.990508>
- Kaytan, M., & Hanbay, D. (2017). Effective Classification of Phishing Web Pages Based on New Rules by Using Extreme Learning Machines. *Anatolian Journal of Computer Sciences*, 2(1).
- Kelley, L. C., Gilbertson, E., Sheikh, A., Eppinger, S. D., & Dubowsky, S. (2010). On the feasibility of solar-powered irrigation. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 14, Issue 9).
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.061>
- Kırar, E., Kısa, M., Özen, M., & Demircan, G. (2023). Yapay Deniz Suyu Ortamında Yaşlandırılan Kompozit Plakanın Düzlem içi Çekme ve Basma Davranışının Sonlu Elemanlar Metodu ile Nümerik Analizi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 8(1).
<https://doi.org/10.46578/humder.1148379>
- Kırar, E., Kısa, M., Özen, M., Demircan, G., & Guven, C. (2024). Mechanical properties of glass/epoxy composites under artificial seawater

- environment: Numerical simulation and experimental validation. *Marine Structures*, 98, 103679.
- Kumar, M., Maurya, P., & Verma, R. (2022). Future of Indian Agriculture Using AI and Machine Learning Tools and Techniques. In *The New Advanced Society: Artificial Intelligence and Industrial Internet of Things Paradigm*. <https://doi.org/10.1002/9781119884392.ch19>
- Kussul, E., Baydyk, T., Mammadova, M., & Rodriguez, J. L. (2022). Development Of A Model Of Combination Of Solar Concentrators And Agricultural Fields. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(8–120). <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.269106>
- Li, G., Kong, M., & Wang, S. (2021). Research on Plant Recognition Algorithm Based on YOLOV3 in Complex Scenes. *Proceedings - 2021 International Conference on Computer Information Science and Artificial Intelligence, CISAI 2021*. <https://doi.org/10.1109/CISAI54367.2021.00072>
- Majeed, Y., Khan, M. U., Waseem, M., Zahid, U., Mahmood, F., Majeed, F., Sultan, M., & Raza, A. (2023). Renewable energy as an alternative source for energy management in agriculture. In *Energy Reports* (Vol. 10). <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.06.032>
- Manoj, K. (2022). Solar Energy Applications for Agriculture: A Review. *I-Manager's Journal on Power Systems Engineering*, 10(3). <https://doi.org/10.26634/jps.10.3.19031>
- Monteiro, A. L., Freitas Souza, M. de, Lins, H. A., Teófilo, T. M. da S., Barros Júnior, A. P., Silva, D. V., & Mendonça, V. (2021). A new alternative to determine weed control in agricultural systems based on artificial neural networks (ANNs). *Field Crops Research*, 263. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108075>
- Moysiadis, V., Sarigiannidis, P., Review, V. V.-C. S., & 2021, undefined. (n.d.). Smart farming in Europe. *Elsevier*. Retrieved November 19, 2021, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1574013720304457>
- Norton, B. (2022). 3.17 - Industrial and Agricultural Applications of Solar Heat. In *Comprehensive Renewable Energy, Second Edition: Volume 1-9* (Vols. 1–3). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819727-1.00076-5>

- Pascaris, A. S., Schelly, C., Burnham, L., & Pearce, J. M. (2021). Integrating solar energy with agriculture: Industry perspectives on the market, community, and socio-political dimensions of agrivoltaics. *Energy Research and Social Science*, 75. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102023>
- Pedersen, S. M., & Lind, K. M. (2017). Precision Agriculture: Technology and Economic Perspectives. In *Progress in Precision Agriculture*.
- Pérez, A. J., López, F., Benlloch, J. V., & Christensen, S. (2000). Colour and shape analysis techniques for weed detection in cereal fields. *Computers and Electronics in Agriculture*, 25(3), 197–212. [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(99\)00068-X](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(99)00068-X)
- Polat, M., Yildiz, A., & Akinci, R. (2021). Performance Analysis and Reduction of Torque Ripple of Axial Flux Permanent Magnet Synchronous Motor Manufactured for Electric Vehicles. *IEEE Transactions on Magnetics*, 57(7). <https://doi.org/10.1109/TMAG.2021.3078648>
- Rizalman, M. K., Moug, E. G., Dargham, J. A., Jamain, Z., Yaakub, N. M., & Farzamnia, A. (2023). A review of solar drying technology for agricultural produce. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 30(3). <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v30.i3.pp1407-1419>
- Sahin, H. (2020). Investigating the effect of single and multiple electrodes on mortality ratio in electric current weed control method with NDVI technique. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(4), 1973–1984. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.698307>
- Sahin, H. (2021). Comparative Analysis of Microwave and Electric Arc as a New Method in Weed Control. *European Journal of Engineering and Technology Research*, 6(2). <https://doi.org/10.24018/ejers.2021.6.2.2369>
- Şahin, H. (2021). Mikrodalga ile yabancı ot kontrolü yönteminde farklı kabin boyutlarının mortalite oranına ve enerji yoğunluğuna etkisinin araştırılması. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 6(2), 80–90.
- Sahin, H. (2022). Investigation of the effectiveness of AC/DC electric current as a weed control method using NDVI technique. *Advances in Weed Science*, 40. <https://doi.org/10.51694/AdvWeedSci/2022;40:00018>
- Sahin, H., & Saglam, R. (2015). *ARNP Journal of Agricultural and Biological Science A Research About Microwave Effects On The Weed Plants*. 10(3).

- Saleem, M. (2022). Possibility of utilizing agriculture biomass as a renewable and sustainable future energy source. In *Heliyon* (Vol. 8, Issue 2). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08905>
- Sarker, M. I., & Kim, H. (2019). *Farm land weed detection with region-based deep convolutional neural networks*. <http://arxiv.org/abs/1906.01885>
- Sen, F., Kircay, A., Sonbas Cobb, B., & Karci, H. (2023). Current-mode fractional-order shelving filters using MCFOA for acoustic applications. *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, 163. <https://doi.org/10.1016/j.aeue.2023.154608>
- Song, L. (2014). Fuzzy control for food agricultural robotics of a degree. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 6(2). <https://doi.org/10.19026/ajfst.6.5>
- Starostin, I. A., Eshchin, A. V., & Davydova, S. A. (2023). Global trends in the development of agricultural robotics. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1138(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1138/1/012042>
- Tiwari, A. (2016). A Review on Solar Drying of Agricultural Produce. *Journal of Food Processing & Technology*, 7(9). <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000623>
- Vishnoi, V. K., Kumar, K., & Kumar, B. (2021). Plant disease detection using computational intelligence and image processing. In *Journal of Plant Diseases and Protection* (Vol. 128, Issue 1). <https://doi.org/10.1007/s41348-020-00368-0>
- Yavuz, I., & Yildirim, A. (2023). Mechanical properties of PLA based closed porous structures manufactured using FDM process. *Multidiscipline Modeling in Materials and Structures*, 19(3). <https://doi.org/10.1108/MMMS-10-2022-0220>
- Yoldas, B. Y., Kekezoglu, B., & Ayhanci, C. (2017). Blackout and blackstart on power systems. *Pressacademia*, 5(1). <https://doi.org/10.17261/pressacademia.2017.589>
- Zhou, Y., Xia, Q., Zhang, Z., Quan, M., & Li, H. (2022). Artificial intelligence and machine learning for the green development of agriculture in the emerging manufacturing industry in the IoT platform. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science*, 72(1). <https://doi.org/10.1080/09064710.2021.2008482>

BÖLÜM 2

BİLİŞİM TEKNOLOJİLERİNDE GÜNCEL KONULAR

Öğr. Gör. Dr. Mustafa KAYTAN¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13647121>

¹ Harran Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Bilgisayar Programcılığı Programı, Şanlıurfa, Türkiye. mkaytan@harran.edu.tr, ORCID: 0000-0002-8416-6520

GİRİŞ

Bilgisayar teknolojisinin günümüzdeki durumuna bakıldığında büyük bir değişimin eşiğinde olduğu görülmektedir. Yeni nesil bilgisayar teknolojileri sayesinde hesaplamalı bilimlerde yapılan araştırmaların ivmeli büyümesi ile yeni keşifler, problem çözme ve yaratıcılık adeta altın çağını yaşamaktadır. Bu bölüm, bilgisayar teknolojilerindeki gelişmelerin ve değişimlerin diğer bilimsel alanlardaki etkilerini incelemeyi ve araştırmayı amaçlamaktadır. Kuantum hesaplama bilişim teknolojilerindeki en önemli konulardan biri. Bu teknoloji ile (Sood & Chauhan, 2024) kubitler kullanılarak klasik bilgi işlem kavramı köklü bir şekilde değiştirilmektedir. Bu kubitler aynı anda iki değeri de alabildiklerinden çok karmaşık işleri klasik bilgisayar sistemlerinden çok daha hızlı yapmalarına olanak tanır. Bu devrim niteliğindeki teknoloji güvenlik, malzeme bilimi ve büyük hesaplamalar gibi pek çok alanı sarsacaktır. Ancak şu an için her şeyin arzulandığı şekilde olmadığı, bunun için gerçek makinelerin tasarlanması, tasarlanan bu makinelerin güvende tutulması ve işlem hatalarının azaltılması gibi çözülmesi gereken bazı zorlu ve zorunlu sorunların bulunduğu görülmektedir. Bu teknolojiler arasında yapay zeka da bilgisayar bilimi dünyasında sesini çok güçlü bir şekilde duyurmaktadır. Çeşitli yapay zeka yöntemleriyle verileri anlama, tahmin ve akıllı seçimler yapma gibi konularda büyük ilerlemelerin olduğu görülmektedir.

Yapay zeka algoritmaları ile büyük veri kümelerinin yüksek hızlarda işlenmesi mümkündür. Daha önce fark edilmeyen yeni kalıplar ve kavrayışlar da sergileyebilirler. Örneğin yabancı ot kontrolü için uygulanan çeşitli yöntemler (Şahin, 2021) derin öğrenme algoritmalarıyla yeniden uygulanabilir. Yapay zekâ için kullanılan algoritmalar, dijital tarım (Şahin, 2022), ilaçların keşfi, iklim değişikliği incelemeleri ve genlerin araştırılması için kullanılabilir. Yapay zekâ ve robot teknolojisindeki gelişmeler ekolojik çözümleri destekleme potansiyeline sahiptir (Şahin, 2022). Tüm bunların yanı sıra etiğin de düşünülmesi gereklidir. Yapay zekanın taraflı olabilmesi, net olmayabilmesi veya beklenmedik sorunlara neden olabilmesi gibi olasılıkların da olduğu bilinmelidir. Bu nedenle yapay zekanın bilim ve teknolojiye çok dikkatli kullanılması gereklidir. Tüm bu çok önemli değişimlerin arasında, yüksek başarılı hesaplama, karmaşık simülasyonlar ve veri ağırlıklı hesaplamalar ile bilimsel ve teknolojik ilerlemeyi desteklemeye ve katkı sağlamaya devam etmektedir. Mili saniyelerde çok yüksek miktarda hesaplama

yapılmasına olanak tanıyarak, iklim modelleme, astrofizik ve tıp gibi alanlarda çok önemli fırsatlar sunmaktadır. Ancak yüksek miktardaki hesaplama kapasitesindeki artışın göz önüne alınarak, sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği ile ilgili doğabilecek potansiyel sorunların da artabileceği unutulmamalıdır. Veri işleme hızının çevresel faktörlerle dengelenmesi gerekmektedir. Her geçen gün daha da artan hesaplama ihtiyacından dolayı enerjiye duyulan talep artmaktadır. Bundan dolayı acil çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır. Uç bilişim, gerçek zamanlı uygulamalar için bilgi işlem ve veri kaynaklarını bir araya getirip Nesnelerin İnterneti dönüşümünü sağladığından bilgi işlem açısından önemli bir yere sahiptir. Otonom araçlar ve akıllı şehirler gibi çeşitli uygulamalarda bağlantı ve senkronizasyon ile yapay zeka düzeyini artırmaktadır (Sethuraman, et al., 2023).

Uç bilişimdeki teknolojik ilerleme farklı güvenlik sorunlarını da beraberinde sürüklemektedir. Farklı türlerdeki bu güvenlik sorunlar kritik bir öneme sahiptir. Bilişim sistemlerinin güvenli ve verimli çalışması için bu sorunlara çözümler üretilmelidir (Liang, et al., 2022). Yeni nesil teknolojiler göz önüne alındığında siber güvenliğe her zamandan daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır. Söz konusu Kuantum hesaplama, yapay zeka ve bunlara benzer devrim niteliğindeki gelişmeler olunca verileri koruma, güvenli bilgi işlem ortamı sağlama ve siber tehditleri önleme odak noktamız olmalıdır. Bilgisayar sistemlerini güvende tutmaya yönelik adımlar çevrimiçi ve çevrimdışı tehditleri kapsar. Verilerin ve gizliliğin korunması hassas araştırma ve geliştirmeler için özel bir öneme sahiptir.

Bilişim Teknolojilerinde güncel konular şu başlıklarda ifade edilebilir;

1. Yapay Zeka

Yapay Zeka, bilişim sistemlerinde insan zekası taklit edilerek kapasitenin yeniden tanımlanmasını sorgulayan sarsıcı bir güçtür. Genel olarak, dil anlama, algılama, problem çözme, akıl yürütme ve öğrenme gibi insan yeteneklerinin ihtiyaç duyduğu bilişsel özelliklere sahip robotlar oluşturmayı hedef alır. Karmaşık derin öğrenme ve makine öğrenimi algoritmalarını klasik kural tabanlı yöntemlerle kullanarak sürekli gelişmektedir. Bunun için çeşitli optimizasyon yöntemleri (Kaytan, Yeroğlu, & Aydilek, 2020) de kullanılmaktadır. Derin öğrenme modellerinde kullanılan aktivasyon fonksiyonları çok önemli hiper parametrelerdendir. Gish (Kaytan, Aydilek, &

Yeroğlu, 2023) ve Sigmoid-Gumbel (Kaytan, Aydılek, Yeroğlu, & Karcı, 2022) örnek olarak verilebilir. ANOVA gibi yöntemlerle yapılan bazı çalışmalara (Güven, Kısa, Demircan, Özen, & Kırar, 2024) derin öğrenme modelleri uygulanabilir. Yapılan bir çalışmada (Akıncı, Akdoğan, & Aktan, 2022) uyuşukluğun tespiti için 20 farklı kişiden elde edilen veri kümesindeki electroencephalogram (EEG) sinyalleri kullanılarak 8 farklı makine öğrenme algoritmasının 25 modeli ile başarımlı analizi yapılmıştır. Yapılan diğer bir çalışmada (Lee & Yan, 2024) doğrusal olmayan modeller yapay zekanın karmaşık etkilerini ve faz farklılıklarını daha iyi inceleyebildiğinden yapay zeka ile enerji geçişi arasındaki ilişkiye odaklanılmış ve enerji sektörüne yapay zeka tanıtılmıştır. Sunulan bir makalede (Khamaj, Ali, Saminathan, & M, 2024) yapay zeka yazılımı kullanılarak nükleer reaktör kontrolünün yönetim, işletme ve bakım gibi özel alanların simüle edilmiş analizine odaklanarak nükleer reaktör kontrolünde izlenecek çok sayıda parametrenin temel ve zorunlu olmayan bileşenlerini yakalayan etkili yapay zeka algoritmaları kullanılmıştır. Sunulan diğer bir makalede (Qader & Cek, 2024) blok zincir ve yapay zekanın Türkiye'deki firmaların denetim kalitesi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Finansal sistemlerde blok zincir teknolojilerinin ve yapay zeka kullanımının, denetim sürecine ve sahtekarlığın tespitine yardımcı olarak denetim kalitesini olumlu yönde etkilediği ve bunun da finansal raporlamayı iyileştirdiği gösterilmiştir.

2. Yüksek Başarımlı Hesaplama

Yüksek Başarımlı Hesaplama, zor ve karmaşık problemlerin çözülmesi ve verilerin klasik bilişim sistemlerine göre daha hızlı işlenmesi için geliştirilen bilişim teknolojilerini ifade eder. Bilim adamları, araştırmacılar, mühendisler ve işletmeler büyük veri kümelerini kullanarak, geniş ölçekli ve hesaplama açısından yoğun görevlerin üstesinden gelebildiklerinden bu tür sistemleri kullanmaktadırlar. Nesnelerin İnterneti ağları için enerji verimli bilgi işlem ve yeşil bilgi işlem elde etmeyi amaçlayan uç (edge), sis (fog) ve bulut (cloud) bilişim ile ilgili son çalışmalara ilişkin kapsamlı bir araştırma sunulmuştur (Alsharif, et al., 2024). İşleme çekirdeği veya sistem sayısındaki artışla birlikte, yüksek başarımlı uç bilgi işlem sistemlerinin hesaplama hızı ve güç tüketimi de artmaktadır. Ancak bu, yüksek enerji kullanımı pahasına gerçekleşir. Enerji tüketimini azaltmak için uygun bir çözüm, bu sistemleri mümkün olan en yavaş

hızda çalıştırarak işin son teslim sürelerine uymaktır. Ancak bu yöntem daha fazla yanıt süresi ve başarımların kaybına yol açmaktadır. Bu sorunu çözmek için genetik algoritmayı ilk mümkün hız tekniği, ile ilişkilendiren bir yöntem önerilmiştir (Hussain, et al., 2024). Bulut bilişim, yüksek başarımlı bilgi işlem uygulamalarında önemini artırmaktadır. Yerel bilgi işlem kaynaklarının sınırlı olduğu durumlarda gelişmiş simülasyonlara olanak sağlamaktadır. Ancak maliyetleri artırabilir ve kaynakların kullanılmaması risklerine neden olabilir. Bu sorunların çözümüne katkı sağlamak adına uzun vadeli bulut kaynağı kullanımını tahmin etmek için makine öğreniminden yararlanan orijinal bir yaklaşım sunulmuştur (Nawrocki & Smendowski, 2024). Akışkan akışı problemlerinin doğrudan sayısal simülasyonu, son yıllarda yüksek başarımlı hesaplamaların en önemli uygulama alanlarından biri olmuştur. Bu konu ile ilgili bir makalede kabul edilebilir doğruluk sağlamaya devam ederken gereken genel hesaplama süresini büyük ölçüde azaltan birleşik bir yüksek başarımlı hesaplama/derin öğrenme iş akışı sunulmuştur (Bode & Göbbert, 2024).

3. Uç Bilişim

Uç Bilişim, veri işleme gücünü (Xhafa, Kilic, & Krause, 2020) merkezi yapıya sahip bulut bilişimden veri kaynağına kaydırarak, veri analizi ve işlemede diğer etkili bir devrimi göstermektedir. Çok farklı çeşit ve sayıda akıllı cihazlar, aktüatörler ve sensörlerden oluşan uç cihazlar bu devrimin tam ortasında yer almaktadır. Nesnelerin İnterneti ve uç bilişim ekosistemleri arasında çok fazla ortak noktanın olduğu söylenebilir. Nesnelerin İnternetinde bulunan uç cihazlar büyük miktarda veri üretir. Üretilen bu veriler yerel olarak işlenebilir. İşlenen verilerle gecikme azaltılır. Böylece gerçek zamanlı karar verme geliştirilir (Siddiqui, Ahmed, & Nayak, 2024). Bir çalışmada (Li, et al., 2024) uç bilişimde güvenilir görev planlamaya yönelik, blok zincir ve derin takviyeli öğrenme teknolojilerinden yararlanan yeni bir çerçeve sunulmuş, ayrıca uç bilişimde görev planlamaya uygun olarak tasarlanmış blok zincir tabanlı bir güven yönetimi şeması tasarlanmıştır. Diğer bir çalışmada (Zheng, Cui, Tso, Li, & Jia, 2024) ise araçların mobilitesinden ve araç-uç ve uç-uç bilgi işlem arasındaki sinerjiden yararlanan yeni ve verimli bir dağıtılmış derin sinir ağı bölümlenme ve boşaltma yöntemi önerilmiştir. Yapılan bir çalışmada (Qian, 2024) akıllı şehir turizmi yönetimindeki sorunları ve zorlukları çözmek için, uç bilişime dayalı e-öğrenme ve etkileşimli iş deneyiminin uygulanması

araştırılmış, öğrenme kaynaklarını ve etkileşimli deneyimleri kullanıcılara yakın uç cihazlarla taşıyarak öğrenmenin rahatlığını ve etkileşimini artıran uç bilişime dayalı bir e-öğrenme planı önerilmiştir. Yapılan bir çalışmada (Zhu, Chen, & Jiang, 2024) eliptik eğri şifrelemesi ve üç faktörlü kimlik doğrulama entegre edilerek güvenlik ve verimlilik sağlayan bir IIoT kimlik doğrulaması tanıtılmış, kullanıcı ve uç sunucu, güvenlik kimlik doğrulaması gerçekleştirilmiş, güvenlik analiziyle önerilen programın temel güvenlik gereksinimlerini karşıladığı kanıtlanmıştır. Performans analizi ilgili planlarla karşılaştırıldığında daha yüksek güvenlik sağlandığını, daha fazla işlevi desteklediğini ve daha düşük hesaplama ve iletişim maliyetleri elde edildiğini göstermiştir.

4. Siber Güvenlik

Siber güvenlik, bilişim sistemlerinde güçlü bir kalkan gibi görev yapmaktadır. Alınan çeşitli yöntemlerle uç cihazlar, bilgisayarlar ve veriler saldırı veya izinsiz erişime karşı korunmaktadır. Bu yöntemler; kurallar, yazılım ve donanım araçları ile dikkat edilmesi gerekenlerin bir karışımı olarak düşünülebilir. İzinsiz girişleri tespit eden sistemler (Liaquat, et al., 2024), mesajı yalnızca ilgili kişinin okuması ve bu kişinin gerçekten ilgili kişi olduğunun kontrol edilmesi, oltalama web sayfalarının tespit edilmesi (Kaytan & Hanbay, 2017) gibi örnekler verilebilir. Çevrimiçi dünyanın tüm güçlü ve zayıf noktalarının bilinmesi önemlidir. Bu zayıf noktalar için çok iyi siber güvenlik savunma yöntemlerine ihtiyaç vardır. Yapılan bir çalışmada (Yang, 2024) elektrikli otomobil teknolojisine dayanan akıllı bulut bilişim ve bulanık makine öğrenimi için blok zincir teknolojisini kullanan siber güvenlik analizi için yeni bir yöntem sunulmuştur. Yapılan diğer bir çalışmada ise (Shukla, Chakrabarti, & Sharma, 2024) şebeke güvenliğini artırmak amacıyla blok zincir teknolojisi araştırılmış ve şifre çözme anahtarlarını paylaşmak için blok zincir tabanlı güvenli bir platform kullanan rastgele sıra tabanlı simetrik bir şifreleme algoritması önerilmiştir. Sunulan bir makalede (Wu, Wang, & Yao, 2024) kentsel siber saldırıların tespiti ve azaltılması amacıyla akıllı şehirlerin güvenliğini artırmaya yönelik gelişmiş bilgisayar destekli bir sistem önerilmiş ve önerilen sistem için akıllı şehir ortamındaki karmaşık ilişkileri yakalayan, siber saldırıların tespit ve hafifletme dinamiklerini modelleyen kapsamlı bir matematiksel çerçeve kullanılmıştır. Sunulan diğer bir makalede (Zhang, Zhu,

Wang, Li, & Zhang, 2024) ise sağlık sistemlerinde ağ güvenliği saldırı tespitinde kapsamlı bir karşılaştırmalı çalışma gerçekleştirilerek özellik seçiminde bilgi fazlalığından ve gürültüden kaynaklanan zorlukları aşmak için, trafik özellikleri arasındaki doğrusal olmayan ilişkileri etkili bir şekilde analiz etmek amacıyla Maksimum Bilgi Katsayısı (Maximum Information Coefficient-MIC) yöntemi geliştirilmiştir.

5. Kuantum Hesaplama

Kuantum algoritmaları devrim niteliğindeki matematiksel yapılardır. Kuantum mekaniğinin ilkelerinden yararlanarak problemlerin klasik algoritmalara göre çok daha hızlı çözülmesi hedeflenmektedir. Grover algoritması (Grover, 1996), veri tabanı aramalarını hızlandırmak için sunulmuştur. Shor algoritması (Shor, 1994) ise büyük sayıları çarpanlara ayırarak mevcut kriptografik sistemlere karşı bir tehdit oluşturma potansiyeline sahiptir. Kuantum hesaplamaların devrim niteliğindeki etkisini anlamak için kuantum algoritmalarının inceliklerini görmek gerekir. Bir çalışmada (Claudino, Lyakh, & McCaskey, 2024) paralel bir kuantum hesaplama platformu olarak geniş bir sanal kuantum işlem birimleri dizisinin tanıtılmasına dayanan, belirli kuantum devre uygulamalarını paralelleştirmek için basit bir model sunulmuştur. Diğer bir çalışmada ise (Yu, et al., 2024) kuantum hesaplamaların sağlık sektöründe, özellikle de sınırlı veriye sahip nadir hastalıklarda tahmine dayalı modellemeyi geliştirme potansiyeli vurgulanmış, Hilbert uzayının keşfi gibi kuantum hesaplamaların avantajları, geleneksel yöntemlere kıyasla üstün tahmin performansı göstermiştir. Bir makalede (Sáez-Ortuño, Huertas-Garcia, Forgas-Coll, Sánchez-García, & Puertas-Prats, 2024) büyük miktarlardaki verilerin hızlı ve doğru bir şekilde işlenmesi için kullanılabilen kuantum hesaplamadaki ilerlemelerin, dijital ekosistemin zorluklarını çözmeye nasıl benzeri görülmemiş bir fırsat sunabileceğini araştırılmıştır. Diğer bir makalede ise (S, A, M, Satya prasad, & Ahmad, 2024) kuantum bilgisayarların düşük hata oranları ve daha iyi doğrulukla oluşturulması için öne çıkan donanım ve yazılım yöntemleri, kuantum bilgisayarların çalışmasını yöneten Kuantum İşleme Birimlerinde (Quantum Processing Units-QPUs) yer alan kübitler ve prensipleri, kuantum algoritmaları ve metodolojisi kübitlerin ihtiyaç duyulan amaca göre manipülasyonunun net bir şekilde anlaşılmasını sağlamak için araştırılmıştır.

6. Blok Zincir Teknolojisi

Blok zincir teknolojisi dağıtılmış bir defter teknolojisidir. Güvenli, açık ve kurcalamaya karşı dayanıklı kayıt tutma temel amaçlardandır. Genel olarak bir blok zincirin temel unsurları merkezi olmayan yapı, kriptografik karmalar ve bloklardır. Dağıtılmış defterler incelenir, defter kopyaları ağda güncel tutulur, bununla ilgili fikir birliği ve işlem değişmezliği garanti edilir (Dhulavvagol, et al., 2024). Yapılan bir çalışmada (Lu, Zhang, & Yuan, 2024) Endüstriyel Nesnelere İnterneti'nde (Industrial Internet of Things-IIoT) hesaplama boşaltma ve kaynak tahsisi çözümü için blok zincir destekli veri iletişimi ve bilgi işlem hizmeti stratejisi sunulmuştur. Diğer bir çalışmada (Song, Liu, Yu, & Han, 2024) ise tedarik zinciri operasyonları ve finansal faaliyetlerdeki güven krizini ele almada blok zincir teknolojisinin rolü araştırılmıştır. Sunulan bir çalışmada (Zavolokina, Bauer-Hänsel, Hacker, & Schwabe, 2024), blok zincir konsorsiyumunun daha iyi değer yaratması için yeni bir organizasyonel form, yani katmanlı bir organizasyon önerilmiştir. Sunulan diğer bir çalışmada (Lu, Liao, & Chen, 2024) ise bir tedarikçi, bir çevrimiçi perakendeci ve bir çevrimdışı perakendeciden oluşan ve tüketicilerin satın alma tercihlerine göre kolaylık tercih ürünü ve güven tercih ürünü olmak üzere iki ürün kategorisi sunan çift kanallı bir tedarik zinciri araştırması yapılmıştır. Yapılan bir çalışmada (Zheng & Jiang, 2024) konsorsiyum blok zincirinin denizcilik endüstrisi üzerindeki etkileri araştırılmış, iki rakip nakliye hattı ve bir limandan oluşan bir pazar modellenmiş, blok zinciri olmayan, yalnızca iki nakliye hattından oluşan kısmi blok zincir ve hem nakliye hatlarından hem de limandan oluşan tam blok zincir olmak üzere üç senaryoyla karşılaştırılmıştır. Yapılan diğer bir çalışmada (Wu J. , Wang, Chen, & He, 2024) blok zincir içeren ve içermeyen tedarik zincirlerindeki teslimat stratejilerini analiz etmek için oyun teorik bir model geliştirilmiş ve blok zincirin üyelerin teslimat hizmetleri ve karları üzerindeki etkisi incelenmiştir.

KAYNAKÇA

- Akinci, R., Akdoğan, E., & Aktan, M. E. (2022). Comparison of Machine Learning Algorithms for Recognizing Drowsiness in Drivers using Electroencephalogram (EEG) Signals. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 10(1).
- Alsharif, M. H., Kelechi, A. H., Jahid, A., Kannadasan, R., Singla, M. K., Gupta, J., & Geem, Z. W. (2024). A comprehensive survey of energy-efficient computing to enable sustainable massive IoT networks. *Alexandria Engineering Journal*, 91, 12-29.
- Bode, M., & Göbbert, J. H. (2024). Acceleration of complex high-performance computing ensemble simulations with super-resolution-based subfilter models. *Computers & Fluids*, 271(106150).
- Claudino, D., Lyakh, D. I., & McCaskey, A. J. (2024). Parallel quantum computing simulations via quantum accelerator platform virtualization. *Future Generation Computer Systems*, 160, 264-273.
- Dhulavvagol, P. M., Totad, S. G., Anagal, A. M., Anegundi, S., Devadkar, P., & Kone, V. S. (2024). ShardedScale: Empowering Blockchain Transaction Scalability with Scalable Block Consensus. *Procedia Computer Science*, 233, 432-443.
- Grover, L. K. (1996). A fast quantum mechanical algorithm for database search. *STOC '96: Proceedings of the twenty-eighth annual ACM symposium on Theory of Computing*, 212-219.
- Güven, C., Kısa, M., Demircan, G., Özen, M., & Kırar, E. (2024). Effect of seawater aging on mechanical, buckling, structural, and thermal properties of nano Al₂O₃ and TiO₂-doped glass-epoxy nanocomposites. *Polymer Composites*, 45(8), 7376-7390.
- Hussain, H., Zakarya, M., Ali, A., Khan, A. A., Qazani, M. R., Al-Bahri, M., & Haleem, M. (2024). Energy Efficient Real-Time Tasks Scheduling on High-Performance Edge-Computing Systems Using Genetic Algorithm. *IEEE Access*, 12, 54879-54892.
- Kaytan, M., & Hanbay, D. (2017). Effective Classification of Phishing Web Pages Based on New Rules by Using Extreme Learning Machines. *Bilgisayar Bilimleri*, 2(1), 15-36.

- Kaytan, M., Aydilek, İ. B., & Yeroğlu, C. (2023). Gish a novel activation function for image classification. *Neural Computing and Applications*, 35, 24259–24281.
- Kaytan, M., Aydilek, İ. B., Yeroğlu, C., & Karcı, A. (2022). Sigmoid-Gumbel Yeni Bir Hibrit Aktivasyon Fonksiyonu. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(1), 29–45.
- Kaytan, M., Yeroğlu, C., & Aydilek, İ. B. (2020). Yapay Sinir Ağları Eğitiminde Kullanılan Optimizasyon Yöntemlerinin İncelenmesi ve Kan Nakli Hizmet Merkezi Veri Seti Üzerinden Değerlendirilmesi. *Bilgisayar Bilimleri*, 5(2), 99–113.
- Khamaj, A., Ali, A. M., Saminathan, R., & M, S. (2024). Human factors engineering simulated analysis in administrative, operational and maintenance loops of nuclear reactor control unit using artificial intelligence and machine learning techniques. *Helikon*, 10(10).
- Lee, C.-C., & Yan, J. (2024). Will artificial intelligence make energy cleaner? Evidence of nonlinearity. *Applied Energy*, 363(123081).
- Li, J., Zhang, H., Li, S., Cheng, L., Guo, Y., & Wu, S. (2024). BD-TTS: A blockchain and DRL-based framework for trusted task scheduling in edge computing. *Computer Networks*, 251(110609).
- Liang, P., Liu, G., Xiong, Z., Fan, H., Zhu, H., & Zhang, X. (2022). A fault detection model for edge computing security using imbalanced classification. *Journal of Systems Architecture*, 133(102779).
- Liaquat, S., Faizan, M., Chattha, J. N., Butt, F. A., Mahyuddin, N. M., & Naqvi, I. H. (2024). A framework for preventing unauthorized drone intrusions through radar detection and GPS spoofing. *Ain Shams Engineering Journal*, 15(5), 102707.
- Liudmila Zavolokina, L., Bauer-Hänsel, I., Hacker, J., & Schwabe, G. (2024). Organizing for value creation in blockchain information systems. *Information and Organization*, 34(3), 100522.
- Lu, J., Zhang, Y., & Yuan, T. (2024). Blockchain-assisted trusted computing and communication resource allocation strategy for industrial Internet of Things. *Internet of Things*, 27(101249).
- Lu, Q., Liao, C., & Chen, X. (2024). The blockchain adoption strategies of online retailer in a dual-channel supply chain. *International Journal of Production Economics*, 274(109322).

- Nawrocki, P., & Smendowski, M. (2024). FinOps-driven optimization of cloud resource usage for high-performance computing using machine learning. *Journal of Computational Science*, 79(102292).
- Qader, K. S., & Cek, K. (2024). Influence of blockchain and artificial intelligence on audit quality: Evidence from Turkey. *Heliyon*, 10(9).
- Qian, W. (2024). Application of e-learning and interactive business experience based on edge computing in smart city tourism management. *Entertainment Computing*, 50(100681).
- S, B. K., A, S., M, M., Satya prasad, Y. J., & Ahmad, I. (2024). Quantum computing basics, applications and future perspectives. *Journal of Molecular Structure*, 1308(137917).
- Sález-Ortuño, L., Huertas-Garcia, R., Forgas-Coll, S., Sánchez-García, J., & Puertas-Prats, E. (2024). Quantum computing for market research. *Journal of Innovation & Knowledge*, 9(3).
- Şahin, H. (2021). Mikrodalga ile yabancı ot kontrolü yönteminde farklı kabin boyutlarının mortalite oranına ve enerji yoğunluğuna etkisinin araştırılması. *Harran University*, 2, 80-90.
- Şahin, H. (2022). Dijital Tarım, Tarım 4.0, Akıllı Tarım, Robotik Uygulamalar ve Otonom Sistemler. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 68-83.
- Şahin, H. (2022). Investigation of the effectiveness of AC DC electric current as a weed control method using NDVI technique. *Advances in Weed Science*, 40(e020220112).
- Sethuraman, R., S, J., Sellappan, S., Sundramiah, C., Thangarajan, I., & Velusamy, N. (2023). An efficient intelligent task management in autonomous vehicles using AIOT and optimal kernel adaptive SVM. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 126, Part B(106832).
- Shor, P. W. (1994). Algorithms for quantum computation: discrete logarithms and factoring. *SFCS '94: Proceedings of the 35th Annual Symposium on Foundations of Computer Science*, 124-134.
- Shukla, D., Chakrabarti, S., & Sharma, A. (2024). Blockchain-based cyber-security enhancement of cyber-physical power system through symmetric encryption mechanism. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 155, Part B(109631).

- Siddiqui, E. F., Ahmed, T., & Nayak, S. K. (2024). A decision tree approach for enhancing real-time response in exigent healthcare unit using edge computing. *Measurement: Sensors*, 32(100979).
- Song, H., Liu, W., Yu, K., & Han, M. (2024). Trusting the trust machine: How does blockchain-enabled governance configuration enhance financing credibility? *Technovation*, 135(103061).
- Sood, V., & Chauhan, R. P. (2024). Quantum computing: Impact on energy efficiency and sustainability. *Expert Systems With Applications*, 255, Part A(124401).
- Wu, J., Wang, H., & Yao, J. (2024). Computer-aided urban energy systems cyber attack detection and mitigation: Intelligence hybrid machine learning technique for security enhancement of smart cities. *Sustainable Cities and Society*, 108(105384).
- Wu, J., Wang, X., Chen, L., & He, Y. (2024). Blockchain adoption to eliminate dispute in platform-supplier cooperative delivery. *Computers & Industrial Engineering*, 192(110227).
- Xhafa, F., Kilic, B., & Krause, P. (2020). Evaluation of IoT stream processing at edge computing layer for semantic data enrichment. *Future Generation Computer Systems*, 105, 730-736.
- Yang, P. (2024). Electric vehicle based smart cloud model cyber security analysis using fuzzy machine learning with blockchain technique. *Computers and Electrical Engineering*, 115(109111).
- Yu, J. Y., Sim, W. S., Jung, J. Y., Park, S. H., Kim, H. S., & Park, Y. R. (2024). Evaluation of conventional and quantum computing for predicting mortality based on small early-onset colorectal cancer data. *Applied Soft Computing*, 111781.
- Zhang, Y., Zhu, D., Wang, M., Li, J., & Zhang, J. (2024). A comparative study of cyber security intrusion detection in healthcare systems. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 44(100658).
- Zheng, S., & Jiang, C. (2024). Consortium blockchain in Shipping: Impacts on industry and social welfare. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 183(104071).
- Zheng, Y., Cui, L., Tso, F. P., Li, Z., & Jia, W. (2024). DNN acceleration in vehicle edge computing with mobility-awareness: A synergistic vehicle-edge and edge-edge framework. *Computer Networks*, 251(110607).

Zhu, W., Chen, X., & Jiang, L. (2024). A secure and efficient authentication key agreement scheme for industrial internet of things based on edge computing. *Alexandria Engineering Journal*, 101, 52-61.

BÖLÜM 3

KOMPOZİT MALZEMELERİN KADEMELİ HASARININ SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE MODELLENMESİ

Öğr. Gör. Dr. Ersan KIRAR¹

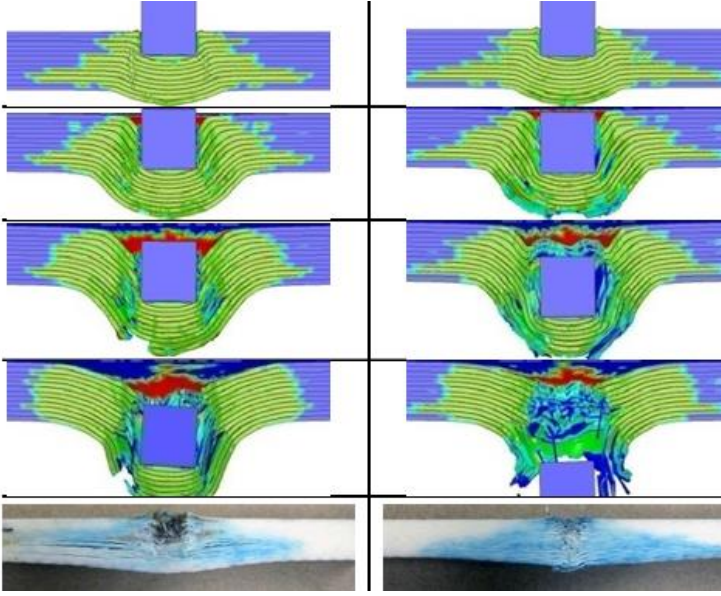
DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13647039>

¹ Harran Üniversitesi, Şanlıurfa Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine Programı, Şanlıurfa, Türkiye, ekirar@harran.edu.tr, ORCID: 0000-0002-7980-4815.

1.GİRİŞ

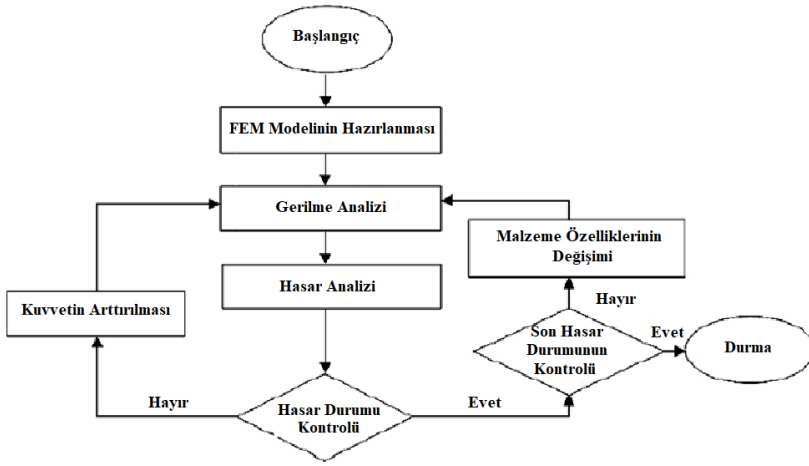
Kompozit malzemelerin hasar incelemesinde deneysel, ampirik formül, analitik veya sonlu elemanlar yöntemi tercih edilmektedir. Ayrıca kompozit malzemenin sonlu elemanlar analizinde hasar incelemesine olan ilgi son zamanlarda artmıştır. Mühendislikte güncel tarımsal uygulamalarda da özellikle yabancı ot kontrolü yöntemlerinde elektrik akımı ve mikrodalga kullanımı ile ilgili çalışmalar ve digital tarım uygulamaları öne çıkmaktadır (Şahin, 2020; Şahin, 2021; Sahin, 2022-A) uygulamaları da Kompozit malzemelerin hasar yayılma modelleri iki gruba ayrılmaktadır: malzeme hasarını kat azaltan yaklaşım ve dahili durum değişkenlerini kullanan sürekli hasar mekaniği yaklaşımına dayalı modeller (Bakhshan, 2018; Wang, 2014). Kompozit plakaların son zamanlardaki uygulamalarında kompozit yapıların statik analizleri sırasında yalnızca maksimum gerilme/gerinim, Tsai-Wu ve Tsai-Hill kriterleri gibi klasik hasar kriterleri dikkate alındığı görülmüştür. Yukarıda belirtilen hasar kriterlerine göre kompozit plaklar tek ortotropik malzemeler olarak kabul edilir. Bu sebeple, belirli bir gerilim kombinasyonu altında matris ve/veya fiberin bir bölgesindeki lokal hasar hesaplanamamaktadır (Lee, 2015). Bu tür yöntemlerin uygulanması nispeten basittir ancak nihai sonuca ilişkin gerçekçi olmayan veriler verme eğilimindedirler. Kademeli hasar analizi uygulanarak daha güvenilir bir sonuçlar elde edilebilir (Ellul, 2014).

Kompozit malzemelerin sonlu elemanlar analizinde kademeli hasar incelemesine uygun olmayan (Kat azaltan yaklaşım) hasar modeli kullanıldığında; kompozit malzeme ilk hasar sonrası mesh elemanları erozyona uğramaktadır. Bu durum nedeniyle de kompozit malzemede ilk hasar sonrasındaki hasar ilerlemesi incelenememektedir. Ancak kompozit malzemenin hasarının kademeli incelenmesi sayesinde ilk hasar sonrasındaki hasar ilerlemesi kademeli olarak izlenebilmektedir. Bu sayede kompozit malzemenin hasar bölgesi daha ayrıntılı olarak incelenebilmektedir (Şekil 1.1 ve Şekil 1.2). Literatürde kademeli hasar incelemesi için kompozit malzemelerin farklı hasar teorem tabanlı malzeme modellerinin tercih edildiği görülmüştür (Lee ve ark., 2015; Falkowicz, 2023; Liu ve Zheng, 2008; Bakhshan ve ark., 2017; Pietropaoli, 2012; Pernas-Sánchez ve ark., 2014; Haque ve ark., 2012; Sridharan, 2017; KIRAR ve ark., 2023).



Şekil 1.1: Kompozit malzemenin sonlu elemanlar analizinde (Ls dyna ve Mat 162 malzeme modeli) kademeli hasar incelemesi örneği (Haque, 2017)

Bu çalışmada kompozit malzemelerin hasar incelemesinde son zamanlarda sıklıkla tercih edilen sonlu elemanlar analizindeki kademeli hasar incelemesi ele alınmıştır. Literatürde kompozit malzemelerin sonlu elemanlar analizinde hasar incelemesi açısından farklı hasar teorem tabanlı malzeme modellerinin kullanıldığı görülmüştür. Bu malzeme modellerinde kademeli hasar incelemeye uygun olanlar sayesinde kompozit malzemelerin hasarının kademeli olarak incelenebilmesinin sağlandığı belirlenmiştir. Bu çalışmada, literatürde karşılaşılan farklı kademeli hasar incelemesi yapılan çalışmalardaki malzeme modelleri ve malzeme modelinin tabanındaki hasar teoremleri incelenmiştir. Bu çalışmada kompozit malzemelerin hasar analizlerinde tercih edilebilecek malzeme modellerinin incelenmesiyle bu konuda çalışacaklara yol gösterilmiştir.



Şekil 1.2: Kademeli hasar modelinin algoritması (Shokrieh, 2012)

2. KOMPOZİT MALZEMELER

Çeşitli mühendislik uygulamalarının üretim ve tasarımında elli binden fazla malzeme türü kullanılmıştır. Bu malzeme türleri, yüzyıllar önce mevcut olan malzemeler (Bakır, dökme demir, pirinç vb.) ile yakın zaman içinde geliştirilen ileri malzemeler (Kompozitler, seramikler ve yüksek performanslı çelikler vb.) arasında değişmektedir (Karataş, 2018). Kompozit malzemeler farklı kimyasal veya fiziksel özelliklere sahip iki veya ikiden fazla malzemenin, mukavemet/ağırlık oranının yüksek olduğu üçüncü bir daha kullanışlı ve verimli malzemeyle sonuçlanan makroskobik kombinasyonudur (Karataş, 2018; Güven, 2024; Khan, 2024; Hsissou, 2021; Panwar, 2018).

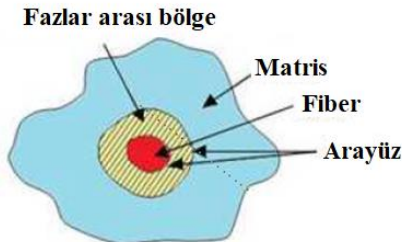
Kompozit malzemeler, yaygın olarak matris içine gömülü olan takviye düzenlemeleri (Doldurucular olarak da adlandırılır) olarakta adlandırılmaktadır (Hsissou, 2021). Kompozit malzemeler kolay bakım, tasarım değişkenliği ve düşük korozyon gibi özelliklerinden dolayı kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerin birincil faydası; sertlik, hafiflik ve mukavemetin kombinasyonudur (Chandra, 2021; Güven, 2022; Khan, 2024). Üreticiler doğru matris ve takviye malzemesi kombinasyonunu seçerek, belirli bir amaç için belirli bir yapının ihtiyaçlarını mükemmel olarak karşılayan nitelikler geliştirebilirler (Khan, 2024). Kompozitlerin uygulaması gemi, otomobil, uçak, tarım makineleri ve uzay aracı imalatında görülebilir (Şekil 2.1) (Kushwaha, 2020; Şahin, 2022).



Şekil 2.1: Kompozit malzemelerin kullanıldığı örnek yapı (Sajan 2021)

2.1. Kompozit Malzemenin Bileşenleri

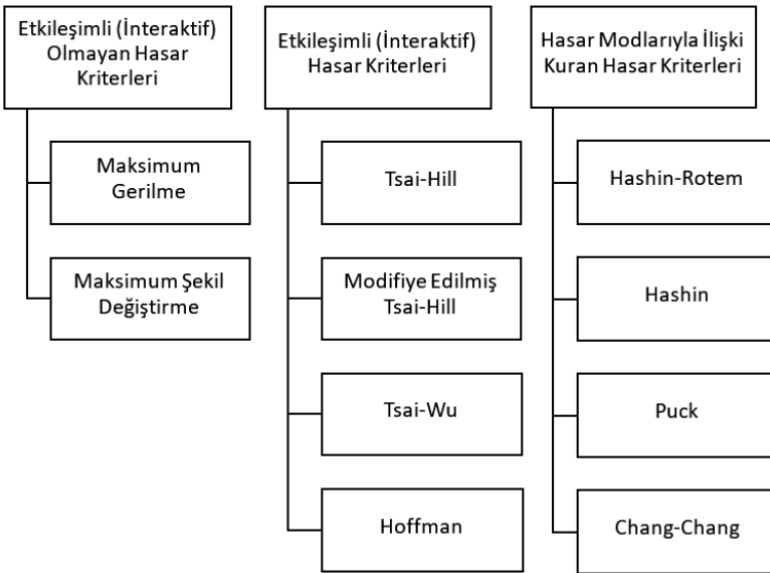
Kompozit malzemeler, takviye ve matris elemanlarından oluşmaktadır (Şekil 2.2) ve bu iki bileşen arasında belirli özelliklere sahip olan üç boyutlu bölge, fazlar arası bölge olarak bilinmektedir (Karataş, 2018; Hsissou, 2021; Panwar, 2018). Genellikle takviye elemanları (Lifler) ana yük taşıyıcı eleman görevi görürken, matris elemanı ise lifleri çevreleyerek istenilen yönde korumaktadır. Matris elemanları, lifler arasında yük aktarma elemanı görevi sayesinde yapıyı nem ve yüksek sıcaklık gibi zorlu çevre koşullarına karşı korur (Karataş, 2018). Takviye fazı malzemesi; lifler, tabakalar veya parçacıklar şeklinde olabilmektedir. Matris malzemeleri genel olarak sürekli dir. Çelikle güçlendirilmiş beton ve grafit elyaflarla güçlendirilmiş epoksi, kompozit malzemelere örnek olarak verilebilir (Sajan, 2021).



Şekil 2.2: Kompozit malzemenin iç yapı elemanları (Karataş, 2018)

3. KOMPOZİT MALZEMELERİN HASAR TEOREMLERİ

Kompozit malzemelere ait hasar kriterlerini gruplama yapmak kullanımda kolaylık sağlamaktadır. Hasar kriterinin gruplandırma işleminde hasarı değerlendirme yöntemine bakılmaktadır. Kompozit malzemelerin hasar kriterleri genellikle etkileşimli hasar kriterleri, etkileşimli olmayan hasar kriterleri ve hasar modlarıyla ilişki kuran hasar kriterleri olarak üç ana başlık (Şekil 3.1) altında incelenebilir (Korkut, 2017; Khan, 2015; Müzel, 2020).



Şekil 3.1: Kompozit malzemelerde kullanılan hasar kriterlerinin gruplandırılması (Korkut, 2017)

3.1. Etkileşimli Olmayan Hasar Kriterleri

Bu hasar kriteri, kompozit tabaka üzerindeki gerinim ve gerilme bileşenlerinin birbirleriyle etkileşimini göz önüne almamaktadır. Bu tür hasar kriterlerinde, ilgili gerinim ya da gerilme bileşeni aynı doğrultuya sahip dayanım değeriyle kıyaslanmaktadır. Bu hasar kriteri, genel olarak dayanım hesaplamalarında çoğunlukla çok eksenli yüklemelerde yanlış değerlendirmelere sebep olabilmektedir (Korkut, 2017; Khan, 2015; Müzel, 2020).

3.2. Etkileşimli Hasar Kriterleri

Bu kategorideki hasar kriterlerinde, farklı doğrultulara sahip gerilmeler bir arada göz önüne alınmasıyla hasar incelemesi yapılmaktadır. Bu bilgiler genellikle bir dizi deneysel çalışmalardan temin edilen verilere eğri ayarlanmasıyla elde edilmektedir. Bu kriterlerde belirtilen şart ihlal edildiğinde kompozit malzemenin hasara uğradığı varsayılmaktadır (Korkut, 2017; Khan, 2015; Müzel, 2020).

3.3. Hasar Modlarıyla İlişki Kuran Hasar Kriterleri

Bu kısımdaki hasar kriterleri, malzemenin farklı türdeki hasar modlarına sahip olabilme durumunu göz önüne almaktadır. Bu kriterler, kompozit malzemenin hasar modlarını hesaplayabilmesinin yanı sıra kademeli hasar analizi çalışmaları için de uyumludurlar. Bu hasar kriterlerindeki hasar modları genel olarak; fiber basma, fiber çekme, matris basma, matris çekme ve delaminasyon olarak sınıflandırılmaktadır (Korkut, 2017; Khan, 2015; Müzel, 2020).

4. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

Sayısal modeller; hasar tespiti, hizmet ömrünün tahmin edilmesi, yapıların sürekli izlenmesi ve en uygun bakım stratejisinin belirlenmesi için modern ve etkili bir araçtır. Mevcut sayısal modelleme yöntemlerinin ilerlemesi ve yeni sayısal modelleme yöntemlerinin artan sayısı, sonuçların ve modelin güvenilirliği ve doğruluğu ile ilgili katı gereksinimleri karşılamak amacıyla sayısal modellere ihtiyaç duyulmasına sebep olmuştur (Ereiz, 2022). Sonlu elemanlar yönteminin; karmaşık geometrinin doğru çözümü, iki farklı malzemenin bileşke özelliklerini gösterebilmesi, toplam çözümün kolay temsili ve yerel etkileri içermesi gibi birçok avantajı vardır (Panwar, 2018).

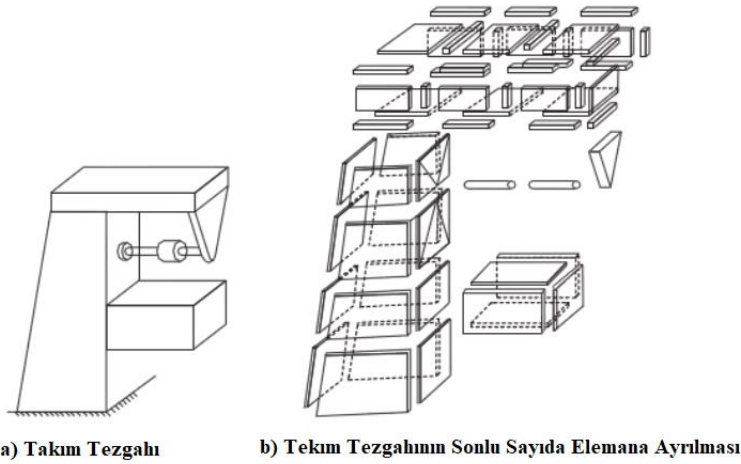
Sonlu elemanlar metodu en yaygın tercih edilen sayısal çözüm metodlarından bir tanesidir. Bu metotla karmaşık yapıya sahip olan problem daha basit olan alt problemlere ayrılarak her biri kendi içinde çözülür. Elde edilen bu çözümlerinde birleştirilmesiyle karmaşık yapıdaki problemin çözümü elde edilir (Alçı, 2016).

4.1. Sonlu Elemanlar Yöntemindeki Eleman Tipleri

Sonlu elemanlar analizi yapılacak parçada, yeterince doğru sonucun elde edilebilmesi için uygun bir şekilde sonlu sayıda elemanlara ayrılması

gerekmektedir (Şekil 4.1). Yapıları sonlu elemanlara ayırma işleminde, parçanın geometrisine ve sürekli ortamın boyutuna en uygun eleman şeklinin seçilmesi gereklidir (Erken, 2009).

Bu yöntemde parça çok sayıda sonlu ve birbirlerine bağlı olan elemanlardan oluşmaktadır. Çözüm yapılırken de sonlu sayıdaki elemanların tamamına çeşitli teoriler ile, denge denklemleri ve sınır koşullarının tanımlanması ile yaklaşık olarak sonuçlar elde edilmektedir (Güler ve Şen, 2015).



Şekil 4.1: Modelin elemanlara bölünmesi (Alçı, 2016)

5. KOMPOZİT MALZEMELERİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE MODELLENMESİ

Literatürde kompozit malzemelerin hasarının sonlu elemanlar yönteminde modellenmesinde kompozit malzemenin farklı hasar teorem tabanlı malzeme modellerinin kullanıldığı görülmüştür. Bu çalışmalar incelendiğinde;

5.1. Sonlu Elemanlar Analizinde Kademeli Hasar İncelemesi Yapan Çalışmalar

Kachanov tarafından geliştirilen sürekli hasar mekaniği, hasarsız malzemenin tam parçalanmış malzemeye kadar bir kompozit malzemenin düzlem içi bozulmasının tüm sürecini belirleyebilen bir yöntemdir. Sürekli hasar mekaniği, bir kompozit malzemenin elastik özelliklerinin kademeli

olarak azaltılmasını açıklar; hasar başlangıcından sonra her katın kademeli olarak boşaltılmasının bir malzeme bozunma modeli aracılığıyla simüle edildiği, kompozitlerin yarı kırılğan kırılma sürecini tahmin etmek için uygun bir modeldir (Maio, 2013).

Dano ve ark. (2000), fiber takviyeli ortası delik kompozit plakanın kademeli hasar incelemesini Abaqus yazılımında farklı malzeme hasar modellerini (Hashin ve maksimum gerilme kriteri) (Subroutine’de kullanılmıştır.) kullanarak yapmışlardır. Kullandıkları malzeme modelleriyle elde ettikleri malzeme hasar sonucunun deneysel sonuçlarla oldukça uyumlu olduğunu belirtmişlerdir.

Cárdenas ve ark. (2013), çalışmalarında kompozit malzemedan imal edilen helikopter pervanelerinin çalışma koşulundaki hasarını, GENOA yazılımı ve TWB-PFA kademeli hasar modeliyle sonlu elemanlar analizinde yapmıştır. Farklı yükleme koşullarının etkilerini oldukça iyi bir şekilde elde ettiklerinin belirtmişlerdir.

Maio ve ark. (2013), cam fiber-epoksi kompozit malzemenin düşük hızlı darbe mekanizmasını Ls dyna ve Mat 162 malzeme modeliyle incelemişlerdir. Çalışmada analiz sonuçlarıyla deneysel sonuçlar arasında uyum elde etmişlerdir. Analiz sonuçlarıyla kompozit malzemenin hasarının kademeli olarak incelemişlerdir.

Lee ve ark. (2015), çalışmalarında cam ve karbon fiber takviyeli kompozit plakaların farklı yükleme koşullarını Abaqus ve subroutine UMAT’ ta Puck hasar kriterini uygulayarak modellemişlerdir. Çalışma sonucunda literatürden elde ettikleri deneysel sonuçlarla analiz sonuçlarının oldukça iyi uyumunu belirlemişlerdir.

Falkowicz (2023), karbon fiber takviyeli polimerik ince cidarlı kompozit plakaların burkulma hasar mekanizmasını Abaqus yazılımında Hashin kriterini kullanarak oluşturduğu alt programla incelemiştir. Analiz ile deneysel sonuçlar arasında uyum elde etmiştir.

Liu ve Zheng (2008), çalışmalarında karbon fiber/epoksi kompozit malzemedan imal edilen hidrojen depolama tankına ait hasarın sonlu elemanlar analizini Ansys ve APDL alt programlamasıyla yapmışlardır. Alt programlamada kademeli hasar analizi için Tsai-Wu hasar kriterini ve “the arc-length algorithm” kullanmışlardır. Analiz ile deneysel sonuçlar arasında

uyum elde ederek tank tasarımını hasar mekanizması yönünden incelemişlerdir.

Bakhshan ve ark. (2017), ortası delik karbon/epoksi kompozit malzemenin çekme yükü altındaki hasarını Abaqus yazılımında alt programlamayla sonlu elemanlar analizini yapmışlardır. Alt programlamada kompozit malzemenin Hashin ve Yamanda-Sun hasar kriterleriyle Camanho'nun malzeme bozulma modu kombinasyonunu kullanmıştır. Analiz ve deneysel sonuçlar arasında Camanho'nun malzeme bozulma modu kullanılmasına karşın istenilen uyumu elde edememişlerdir.

Rozylo ve ark. (2020), çalışmalarında karbon/epoksi ince cidarlı plakaların burkulma hasarının sonlu elemanlar analizini Abaqus yazılımında Hashin hasar kriterini alt programlamayla dahil ederek yapmışlardır. Elde ettikleri analiz ve test uyumu sonrası analiz sonuçlarından kompozit malzemenin kademeli burkulma hasarını incelemişlerdir.

Pietropaoli (2012), ortası delik ve güçlendirilmiş kompozit plakaların çekme yükü altındaki mekanik hasarını Ansys ve Hashin hasar kriterinin alt programlamayla analize dahil ederek modelleme yapmıştır. Elde ettiği analiz ve literatürden alınan deneysel sonuçların karşılaştırmasında uyumlu sonuçlar yakalamıştır. Kademeli analiz sonuçlarıyla kompozit plakaların hasar mekanizmasını incelemiştir.

Ellul ve ark. (2013), E cam takviyeli kompozit malzemenin eğme yüklemesinin mekanik davranışını Ansys ve hasar modu tanımı içinde alt programlama kullanarak sonlu elemanlar analizini gerçekleştirmişlerdir. Malzeme hasar modu olarak Hashin ve Tsai-Wu'yu kullanmışlardır. Deneysel sonuçların analiz sonuçlarıyla karşılaştırmasında Hashin hasar kriterinin daha uyumlu sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir.

Shokrieh ve ark. (2012), çalışmalarında ortası delik E cam/epoksi kompozit plakanın çekme yükü altındaki hasarını farklı sıcaklıklar için sonlu elemanlar analizinde ve deneysel olarak incelemişlerdir. Sonlu elemanlar analizinde kademeli hasar incelemesi için Ansys yazılımında alt programlama (Hashin hasar kriteri) yapmışlardır. Çalışma sonucunda sıcaklık değişiminin numunedeki çekme hasarına etkisini incelemişlerdir.

Kathavate ve ark. (2020), çalışmalarında Hashin hasar kriteriyle kompozit malzemenin hasar incelemesini kademeli olarak sonlu elemanlar analizinde yapmışlardır.

Pernas-Sánchez ve ark. (2014), çalışmalarında unidirectional (Tek yönlü lif takviye elemanı) karbon/epoksi kompozit plakaların farklı darbe hızlarındaki hasarını hem sonlu elemanlar yöntemi hem de deneysel olarak araştırmışlardır. Sonlu elemanlar analizini, Ls dyna-Chang-Chang hasar kriteri tabanlı malzeme modeli kullanarak yapmışlardır. Çalışma sonucunda sonlu elemanlar analizinden test sonuçlarına uyum elde etmişlerdir.

Gama ve Gillespie (2011), S2 cam/SC15 epoksi kompozit plakaların balistik hasar incelemesini sonlu elemanlar analiziyle yapmışlardır. Analiz çalışması için Ls dyna ve Mat 162 malzeme modeli kullanmışlardır. Analizlerden test sonuçlarına uyumlu sonuçlar elde ettikten sonra kompozit malzemenin balistik hasar mekanizmasını kademeli olarak analiz sonuçlarından incelemiştir.

5.2. Sonlu Elemanlar Analizinde Hasar İncelemesi Yapanlar (Tsai-Wu, Hoffman, Tsai-Hill vb. hasar kriterleri tabanlı malzeme modeli kullanımıyla)

Kompozit malzeme için birçok hasar kriteri, (Tsai-Wu, Hoffman ve Tsai-Hill kriterleri), Von Mises kriterinin ikinci dereceden bir kritere genişletilmesi olarak düşünülmüştür ve tüm kompozit malzemenin hasarını kontrol edilmesine izin verir (Pietropaoli, 2012).

Bhat (2007), balistik hasar incelemesinde kullanmak için hibrit kompozit malzemeler üretmiştir. Ürettiği kompozit malzemeleri farklı darbe hızları için deneysel olarak incelemiştir. Ayrıca sonlu elemanlar analiziyle de (Abaqus yazılımı) kompozit malzemenin darbe durumunun hasar incelemesini yapmıştır.

Sastry ve ark. (2014), kevlar/epoksi, E-cam/epoksi ve CFRP kompozit malzemelerin balistik uygulamasının hasar mekanizmasını Abaqus sonlu elemanlar yazılımı ile incelemiştir. Test ile analiz sonuçlarının arasında yeterince uyum olduğunu tespit etmişlerdir.

Bandaru ve Ahmad (2016), S2 cam/epoksi kompozit malzemenin balistik hasar mekanizması incelemesini Abaqus yazılımıyla yapmışlardır. Deneysel sonuçlar ile sonlu elemanlar yönteminden elde ettikleri sonuçların karşılaştırmasında uyum olduğunu tespit etmişlerdir.

Hu ve ark. (2015), kompozit plakanın hasarını Abaqus yazılımında farklı hasar modlarını (Tsai-Wu ve maksimum gerilme kriterleri) kullanarak

sonlu elemanlar analizinde incelemişlerdir. Analiz sonuçlarını deneysel sonuçlar ile karşılaştırmışlardır. Her iki hasar modunda da deneysel sonuçlara yeterince uyumlu sonuçlar aldıklarını belirtmişlerdir.

Literatür araştırmasında kompozit malzemelerin farklı yükleme koşulları altında hasar mekanizması incelemelerinin yapıldığı belirlenmiştir. Ayrıca kompozit malzemeye ait hasar incelemelerinin; ampirik formül, deneysel, analitik veya sonlu elemanlar yöntemiyle yapıldığı tespit edilmiştir. Özellikle son zamanlarda kompozit malzemenin hasar incelemelerini sonlu elemanlar yöntemiyle çalışanların sayısının arttığı gözlemlenmiştir. Kademeli hasar incelemesi yapmayan sonlu elemanlar analizi çalışmalarında kompozit malzemenin hasarı sonrası malzeme modeli verilerinin güncellenmediği ve bu nedenle gerçekçi sonuçların elde edilemediği tespit edilmiştir. Ayrıca literatürde kompozit malzemelerin kademeli hasar incelemesinin sonlu elemanlar analizi çalışmalarında Ls dyna-Mat 162 vb. yazılımların kullanıldığı belirlenmiştir. Bu malzeme modelleri, kompozit malzemenin belirli yükleme koşulları altındaki hasarının tabakalar arası kademeli olarak incelenebilmesini sağlamaktadır. Bu sayede de daha gerçekçi sonuçların elde edilebildiği tespit edilmiştir.

6. SONUÇ

Kompozit malzemelerin hasar incelemesinde deneysel, teorik ya da numerik yöntemler kullanılmaktadır. Numerik yöntem tabanlı olan sonlu elemanlar yöntemi kompozit malzemelerin hasar incelemesinde pratiklik ve kolay olması yönleriyle sıklıkla tercih edilmektedir. Sonlu elemanlar yöntemiyle kompozit malzemenin hasar incelemesinde kademeli hasar incelemesi yapılamayan malzeme modelleri bulunmaktadır. Bu malzeme modellerinde kompozit malzemenin kademeli olarak hasar incelemesi yapılamamaktadır. Hasar kriteri şartını sağlayan elemanlar analizde erozyona uğrayarak yok olmaktadır. Haliyle hasar sonrası malzeme davranışı ve tabakalar arası ayrılma durumları net olarak incelenememektedir. Ayrıca bu malzeme modellerinin kullanıldığı analizlerde hasara göre malzeme özellikleri değişmemektedir. Ancak sonlu elemanlar analizinde kullanılan malzeme modeli kademeli hasarı inceleme yeteneğine sahip ise; kompozit malzemenin hasara uğradıktan sonraki davranışı ve tabakalar arası ayrılmalar analize dahil olmaktadır. Bu malzeme modeli sayesinde deneysel incelemeleri

zor olan (Yüksek hızı darbe) kompozit malzeme hasarları ayrıntılı bir şekilde incelenebilmektedir. Kompozit malzemelerin kademeli hasar incelemesi çalışmalarında Ls dyna-Mat 162 malzeme modeli vb. yazılımların kullanımının analiz doğruluğuna ve gerçekliğine katkı sağlayacağı belirlenmiştir.

KAYNAKÇA

- Bakhshan, H., Afrouzian, A., Ahmadi, H. and Taghavimehr, M. (2018). Progressive failure analysis of fiber-reinforced laminated composites containing a hole. *International Journal of Damage Mechanics*, Vol. 27(7) 963–978.
- Wang, F., Ding, J. & Chen, Z. (2014). Statistical analysis of the progressive failure behavior for fiber-reinforced polymer composites under tensile loading. *Polymers*, 6, 145-159.
- Lee, C., Kim, J., Kim, S., Ryu, D. and Lee, J. (2015). Initial and progressive failure analyses for composite laminates using puck failure criterion and damage-coupled finite element method. *Composite Structures*, 121 406–419.
- Ellul, B., Camilleri, D. & Betts, J. C. A. (2014). Progressive failure analysis applied to fiber-reinforced composite plates subject to out-of-plane bending. *Mechanics of Composite Materials*, Vol. 49, No:6, January.
- Falkowicz, K. (2023). Experimental and numerical failure analysis of thin-walled composite plates using progressive failure analysis. *Composite Structures*, 305 116474.
- Liu, P. F. & Zheng, J. Y. (2008). Progressive failure analysis of carbon fiber/epoxy composite laminates using continuum damage mechanics. *Materials Science and Engineering A*, 485, 711–717.
- Pietropaoli, E. (2012). Progressive failure analysis of composite structures using a constitutive material model (USERMAT) developed and implemented in ansys. *Appl Compos Mater*, 19:657–668.
- Pernas-Sánchez, J., Artero-Guerrero, J.A., Viñuela, J. Z., Varas, D. & López-Puente, J. (2014). Numerical analysis of high velocity impacts on unidirectional laminates. *Composite Structures*, 107, 629–634.
- Haque, (Gama) B. Z., Harrington, J. L. and Gillespie, Jr. J. W. (2012). Multi-Hit ballistic impact on S-2 glass/SC15 thick-section composites: finite element analyses. *JSA*, 47(7) 495–512.
- Sridharan, S. (2017). Performance evaluation of two progressive damage models for composite laminates under high velocity projectile impact. North Carolina State University, Mechanical Engineering, Master of Science, Raleigh, North Carolina.

- Kırar, E., Kısa, M., Özen, M. & Demircan, G. (2023). Yapay deniz suyu ortamında yaşlandırılan kompozit plakanın düzlem içi çekme ve basma davranışının sonlu elemanlar metodu ile nümerik analizi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 8(1), 17-26.
- Haque, B. Z. (2017). MAT162 user manual version 17A-2017. Materials Sciences Corporation (MSC) & University of Delaware Center for Composite Materials (UD-CCM). Technical Support, 50s.
- Shokrieh, M. M., Torabizadeh, M. A. & Fereidoon, A. (2012). Progressive failure analysis of glass/epoxy composites at low temperatures. *Strength of Materials*, Vol. 44, No. 3, May.
- Altın Karataş, M. & Gökkaya, H. (2018). A review on machinability of carbon fiber reinforced polymer (CFRP) and glass fiber reinforced polymer (GFRP) composite materials. *Defence Technology* doi: 10.1016/j.dt.2018.02.001.
- Güven, C., Kısa M., Demircan, G., Özen, M., Kırar, E. (2024). Effect of seawater aging on mechanical, buckling, structural, and thermal properties of nano Al₂O₃ and TiO₂-doped glass-epoxy nanocomposites. *Polym Compos.*; 1-15. doi:10.1002/pc.28273.
- Khan, F., Hossain, N., Mim, J. J., Maksudur Rahman, SM., Jayed Iqbal Mostakim Billah, Md. & Asaduzzaman Chowdhury, M. (2024) Advances of composite materials in automobile applications – A review. *Journal of Engineering Research*, ISSN 2307-1877.
- Hsissou, R., Seghiri, R., Benzekri, Z., Hilali, M., Rafik, M. & Elharfi, A. (2021). Polymer composite materials: A comprehensive review. *Composite Structures*, 262 113640.
- Panwar, V., Gupta, P., K Bagha, A. & Chauhan, N. (2018). A Review on studies of finite element model updating and updating of composite materials. *Materials Today: Proceedings*, 5 27912–27918.
- Dubey, S. C., Mishra, V. & Sharma, A. (2021). A review on polymer composite with waste material as reinforcement. *Materials Today: Proceedings*, Volume 47, Part 11, Pages 2846-2851.
- Güven, C., Kısa, M., Özen, M., Demircan, G. (2022). Al₂O₃ ve TiO₂ nanopartikül katkısının cam elyaf takviyeli kompozitlerin mekanik özelliklerine ve burkulma davranışına etkisi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 7(3), 161-172.

- Chandra Dubey, S., Mishra, V., Sharma, A. (2021). A review on polymer composite with waste material as reinforcement. *Materials Today: Proceedings*, Volume 47, Part 11, Pages 2846-2851.
- Kushwaha, S. and Kumar Bagha, A., Application of composite materials for vibroacoustic – A review, *Materials Today: Proceedings* 26 (2020) 1567–1571.
- Sahin, H. (2020). Investigating the effect of single and multiple electrodes on mortality ratio in electric current weed control method with NDVI technique. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(4)1973–1984.
<https://doi.org/10.17341/gazimmfd.698307>.
- Şahin, H. (2021). Mikrodalga ile yabancı ot kontrolü yönteminde farklı kabin boyutlarının mortalite oranına ve enerji yoğunluğuna etkisinin araştırılması. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 6(2), 80–90.
- Sahin, H. (2022)-A. Investigation of the effectiveness of AC/DC electric current as a weed control method using NDVI technique. *Advances in Weed Science*, 40.
<https://doi.org/10.51694/AdvWeedSci/2022;40:00018>
- Şahin, H. (2022). Dijital Tarım, Tarım 4.0, Akıllı Tarım, Robotik Uygulamalar ve Otonom Sistemler. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 18(2), 68-83.
- Sajan, S. & Selvaraj, D. P. (2021). A review on polymer matrix composite materials and their applications. *Materials Today: Proceed*Şahin, H. (2022).
- Korkut, S. (2017). Statik ve dinamik yükler altında kompozit plakaların hasar durumlarına karşı davranışlarının incelenmesi, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Khan Islam, A. (2015). Progressive Failure analysis of laminated composite structures. The Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Aerospace Engineering, Doctor of Philosophy.
- Müzel, D. S., Bonhin, P. E., Guimarães, M. N. & Guidi, E. S. (2020). Application of the finite element method in the analysis of composite materials: a review. *Polymers*, 12, 818.
- Ereiz S., Duvnjak I. & Jim´enez-Alonso J. F. (2022). Review of finite element model updating methods for structural applications. *Structures*, 41 684–723.

- Alçı, M. (2016). Katmanlı kompozit plakalar ile desteklenmiş nomex bal peteği sandviç yapıların düşük hızlı darbe davranışının incelenmesi. Erciyes Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri.
- Erken, B. (2009). Kafes kirişli portal kren ana kirişinin sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmesi ve analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Güler, M. S. & Şen, S. (2015). Sonlu elemanlar yöntemi hakkında genel bilgiler. Ordu Üniv. Bil. Tek. Derg., Cilt:5, Sayı:1, 2015,56-66.
- Maiorani, L., Monaco, E., Ricci, F. and Lecce, L. (2013). Simulation of low velocity impact on composite laminates with progressive failure analysis. *Composite Structures* 103, 75–85.
- Dano, M.-L., Gendron G. & Picard A. (2000). Stress and failure analysis of mechanically fastened joints in composite laminates. *Composite Structures*, 50 287-296.
- Cárdenas, D., Elizalde, H., Marzocca, P., Abdi, F., Minnetyan, L. & Probst, O. (2013). Progressive failure analysis of thin-walled composite structures. *Composite Structures*, 95 53–62.
- Rozylo, P., Ferdynus, M., Debski, H. & Samborski S. (2020). Progressive failure analysis of thin-walled composite structures verified experimentally. *Materials*, 13, 1138.
- Kathavate, V. S., Pawar, D. N., Bagal, N. S. & Adkine, A. S. (2020). Progressive Failure analysis of fiber reinforced polymer matrix composites. *Materials Today: Proceedings*, Volume 22, Part 4, Pages 1524-1534.
- Gama, A. B. & Gillespie, J. W. (2011). Finite element modeling of impact, damage evolution and penetration of thick-section composite. *International Journal of Impact Engineering*, 38, 181-197.
- Bhat, A. R. (2007). Finite element modeling and dynamic impact response evaluation for ballistic applications. Oklahoma State University, Master of Science, Oklahoma.
- Sudhir Sastry, Y. B., Pattabhi, R. B., Krishna, Y. & Devaraj, S. (2014). Studies on ballistic impact of the composite panels. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 72, 2–12.

- Bandaru, A. K. & Ahmad, S. (2016). Modeling of progressive damage for composites under ballistic impact. *Composites Part B*, 93, 75-87.
- Hu H.-T., Lin W.-P. & Tu F.-T. (2015). Failure analysis of fiber-reinforced composite laminates subjected to biaxial loads. *Composites Part B: Engineering*, Volume 83, Pages: 153-165.

BÖLÜM 4

BEYİN BİLGİSAYAR ARAYÜZÜ TEKNOLOJİSİNİN KULLANIM ALANLARI

Öğr. Gör. Rüya AKINCI¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13647114>

¹ Harran Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Elektronik ve Otomasyon Bölümü,
Şanlıurfa, Türkiye. ruyaakinci@harran.edu.tr, ORCID: 0000-0001-6272-1178

GİRİŞ

Son yıllarda teknolojiye olan gelişmeler güncel mühendislik konularındaki yenilikleri de beraberinde getirmiştir. Güncel konular arasında yer alan alanların bazıları ise mekatronik sistemler, analog elektronikteki gelişmeler (Sen, ve ark., 2024), güç sistem analizi (Ayhancı & Kekezoğlu, 2022), elektrikli araç teknolojileridir (Polat, M., ve ark., 2021). Bu alanlardaki ilerlemelere ek olarak özellikle yapay zekâ ve makine öğrenmesi birçok alana dahil olarak güncel mühendislik konularında yer alan alanların gelişmelerini desteklemiştir. Yine yapay zekânın katkısı sağladığı akıllı tarım ve dijital tarım uygulamaları (Şahin, 2024; Şahin, 2022-A; Şahin, 2020; Şahin, 2022-B), oyun geliştirme (Wang, Y. M. ve ark., 2023), robotik teknolojiler, hastalık tespiti (Mertyüz, İ. ve ark., 2020) ve akıllı araç teknolojileri, rehabilitasyon teknolojileri ve beyin bilgisayar arayüzü vb. gibi birçok alan yer almaktadır.

Yapay zekâ teknolojisindeki ilerlemeler, araştırmacıları EEG tabanlı beyin bilgisayar arayüzünde kullanılan EEG sinyallerini sınıflandırmak için makine öğrenimi teknikleri ve derin öğrenme yaklaşımlarını kullanmaya teşvik etmiştir.

İnsan toplumun temel kavramı iletişim veya sosyal temastır. Bu nitelik insanların birbirleriyle duygu, arzu ve fikir alışverişinde bulunmalarına olanak tanımaktadır. İnsan iletişimi, bu iletişimin ses, jest veya yazı yoluyla oluşması durumunda daha basit ve az kısıtlayıcı hale gelir. Ancak felçli bir kişinin başkalarıyla iletişim kurması mümkün olmadığından, beyin bilgisayar arayüzü kullanılarak hastaların çevreleriyle iletişimlerini sağlayan cihazlar tasarlanmıştır. Beyin bilgisayar arayüzleri, düşüncelerin kodunu çözerek insan beyni ile dış dünya arasında bir bağlantı kurar. Beyin bilgisayar arayüzlerinin kullanıldığı bazı alanlar ise rehabilitasyon teknolojileri, tekerlekli sandalye kullanımı, robot kontrolü, araç sürüş güvenliğini sağlayan teknolojiler ve oyun teknolojileri vb. dir.

Yapılan çalışmalarda, beyin bilgisayar arayüzü için kullanılan EEG sinyallerinin sistem üzerinde kullanılabilmesi için belli başlı bazı adımları mevcuttur. Bunlar sinyal işleme ve çözme adımları, niyet okuma – çözme ve sınıflandırma adımlarından oluşmaktadır. Bunlar şu başlıklar ile açıklanabilir;

Niyet Okuma ve Çözme

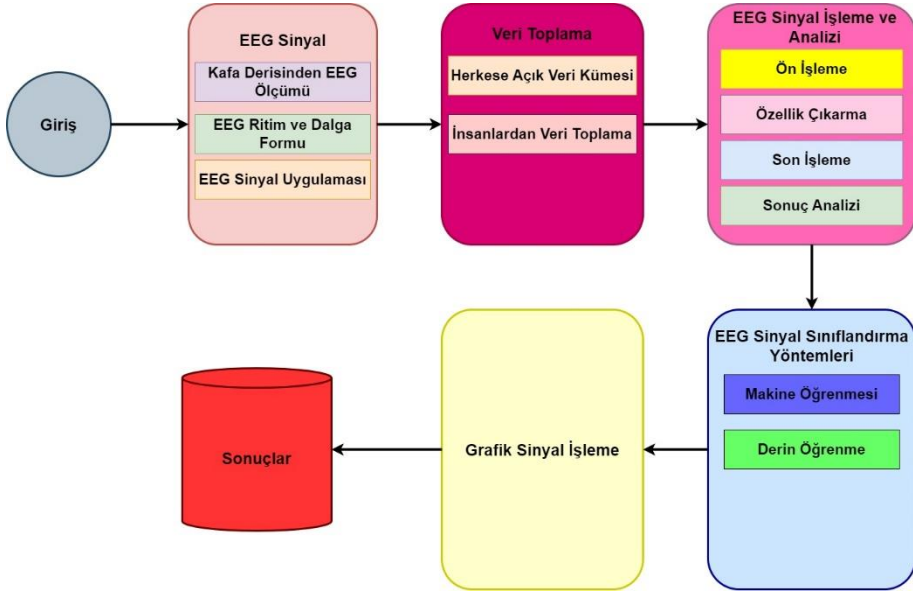
Beyin sinyalleriyle kontrol edilen bir sistem tasarımında ilk olarak beyin sinyallerinden elde edilecek kodların çözülmesi gerekmektedir. Yani hastanın niyetinin beyin sinyalleriyle oluşturulan kodun okunarak ve çözülmesi gerekmektedir. Beyin sinyallerinin kodunun okunması ve çözülmesi için farklı görüntüleme yöntemleri vardır. Bunlar; Elektroensefalografi (EEG), elektrokortikografi (ECoG), magnetoensefalografi (MEG), yakın kızılötesi spektroskopisi (YKS), fonksiyonel manyetik görüntüleme ve pozitron emisyon tomografisi gibi bazı yöntemler beyin sinyallerini kaydetmek için kullanılmaktadır (Korkmaz ve ark., 2023). Beyin aktivitesinin ölçümü için kullanılan EEG sinyalleri, elektrotlar vasıtasıyla beyin yüzeyindeki elektriksel aktiviteyi ölçer ve aynı zamanda bir niyet potansiyelini algılar. EEG sinyalleri, beyindeki sinyal aktivitesini toplu bir şekilde ölçer. Bu sebeple sinyaller birleşik sinyal olarak ifade edilebilir. Dolayısıyla EEG sinyalleri belirli bir aralıkta ritmik şekiller olarak düşünülebilir. Bu şekiller, beyin dalgaları olarak adlandırılmakla birlikte belirli frekans bantlarına ayrılmaktadır. Bu dalgalar; beta dalgaları, alfa dalgaları, teta dalgaları ve delta dalgalarıdır. Tablo 1’de bu dalgaların frekans bant aralığı ve bu dalgalar belirginleştiğinde insan vücudunda ortaya çıkan durum belirtilmiştir.

Tablo 1. EEG Sinyalleri Dalgaları

Dalga	Frekans Aralığı	Durum
Beta Dalgası	13-30 Hz (Yüksek Frekanslı)	Uyanıklık, dikkat durumu, konsantrasyon ve zihinsel aktivite
Alfa Dalgası	8-12 Hz (Orta Frekanslı)	Dinlenme, gevşeme ve gözlerin kapatılması
Teta Dalgası	4-7 Hz (Düşük Frekanslı)	Uykunun hafif evreleri, rüyalar ve meditasyon
Delta Dalgası	0.5-4 Hz (Çok Düşük Frekanslı)	Derin uyku evreleri, restoratif dinlenme ile bazı nörolojik bozukluklar

Sinyal İşleme

EEG sinyal işleme ve analizi dört temel adımdan oluşmaktadır. Başlangıçta ham sinyaller belirli bir ön işleme alınır. Ön işleme işleminde sinyalin kalitesinin artırılması için çeşitli filtreleme teknikleri kullanılır. Bunun sonucunda, önceden işlenmiş sinyallerden özellik çıkarma aşamasında kritik bilgiler elde edilmektedir. Bu özellikler ise daha sonra seçim yöntemleri kullanılarak optimizasyonları iyileştirebilmektedir (Sharma & Meena, 2024). Bir diğer aşamada ise makine öğrenmesi yöntemleri ya da istatistiksel testler kullanılarak hastalıklar tespit edilir ya da niyet tespiti yapılır. EEG sinyal işleme adımları şekil 1’de yer almaktadır.



Şekil 1. EEG sinyal işleme adımları

EEG sinyallerinin elde edilme yolları ya kişilerden EEG cihazı yardımıyla ya da herkese açık veri kümelerinden elde edilebilmekte ve elde edilen EEG sinyalleri ise sinyal işleme yöntemleriyle ön işleme, özellik çıkarma, son işleme ve sonuç analizi adımlarından oluşmaktadır.

Ön İşleme

Ön işleme 3 adıma bölünmüştür. Bunlar; alt örnekleme, artefaktın kaldırılması ve özellik ölçeklendirmedir. Farklı elektrotlardan alınan beyin

sinyalleri, duruma göre 512-64 Hz, 256-16 Hz, gibi farklı frekanslarda alt frekanslara örneklenmektedir.

Artefaktların Kaldırılması

Artefaktlar, EEG sinyalleri toplanırken oluşan bazı hatalar nedeniyle oluşmaktadır. Bunlar; deneysel ayarlar, çevresel gürültü, fizyolojik sinyaller veya biyolojik artefactlar gibi hatalar nedeniyle üretilmektedir. Ayrıca göz hareketleri, kas aktivitesi ve EKG artefactları da bu duruma dahildir. Yapılacak olan çalışmanın daha verimli olması için artefactların ortadan kaldırılması gerekmektedir.

Özellik Ölçeklendirme

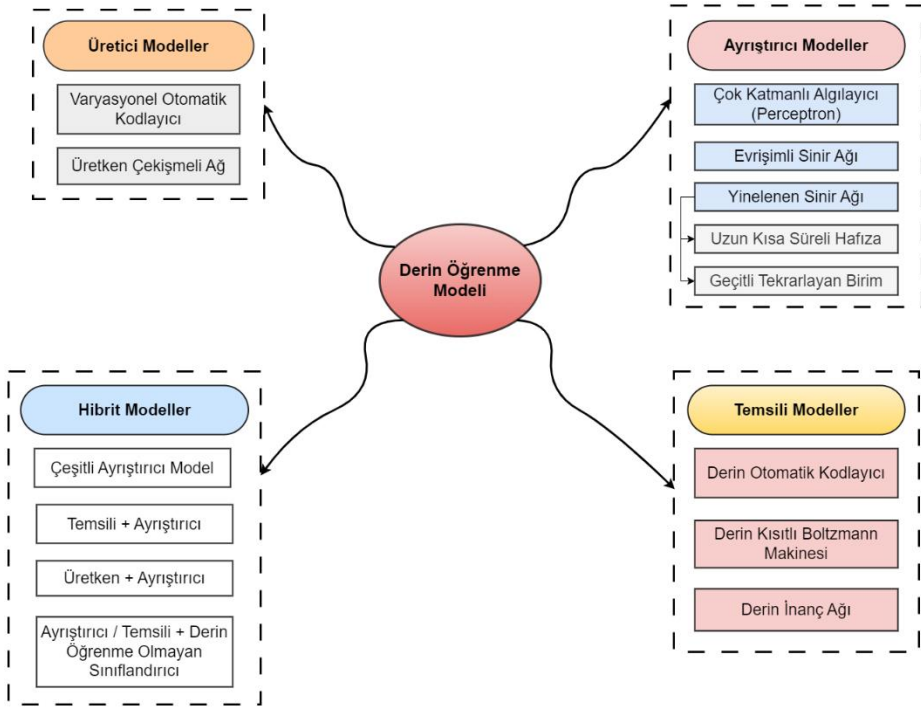
Özellik ölçeklendirme, bağımsız değişkenlerin ya da verilerin özelliklerinin simetrik davranış gösterebilmesi için kullanılan yöntemdir. Burada amaç, sinyali makine öğrenmesi algoritmalarına hazırlamaktır. Bazı makine öğrenmesi algoritmaları ham verilerin değer aralıklarında çok fazla dalgalanma varsa verimli bir şekilde çalışmamaktadır. Bu nedenle sınıflandırma yapılmadan önce özellik ölçeklendirme yapılması gerekmektedir.

Özellik Çıkarma

Ham verilerin daha etkili bir girdi kümesine dönüştürülebilmesi için kullanılan bir sinyal ön işleme adıdır. Her girdi kümesi farklı özelliklerden oluşmaktadır. Bu sayede verilerin boyutları azaltılarak makine öğrenmesi algoritmalarına daha verimli veri kümesi hazırlanmış olacaktır. Bu sayede sistem daha hızlı ve daha verimli sinyal sınıflandırması yapabilecektir.

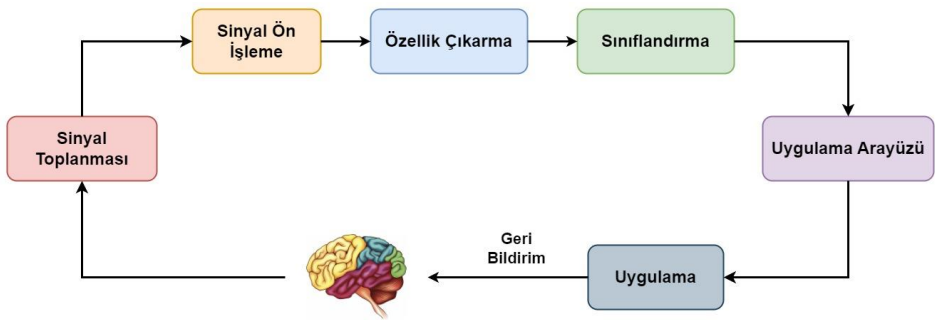
Sınıflandırma Yöntemleri

EEG sinyal sınıflandırması çeşitli yöntemlerle olabilmektedir. Bunlar, derin öğrenme, makine öğrenmesi, yapay sinir ağları ile sınıflandırma yöntemleri olduğu gibi bu yöntemlerin birleştirildiği hibrit yöntemlerde bulunmaktadır. Derin öğrenme ve makine öğrenmesinin birleşimi ile elde edilen algoritmalar, özellikle EEG sinyal sınıflandırmasında beyin aktivitesine ilişkin çalışmaları geliştirmiştir (Sharma & Meena, 2024). Farklı derin öğrenme mimarileri ise şekil 2' de gösterilmektedir.



Şekil 2. Derin Öğrenme Modelleri

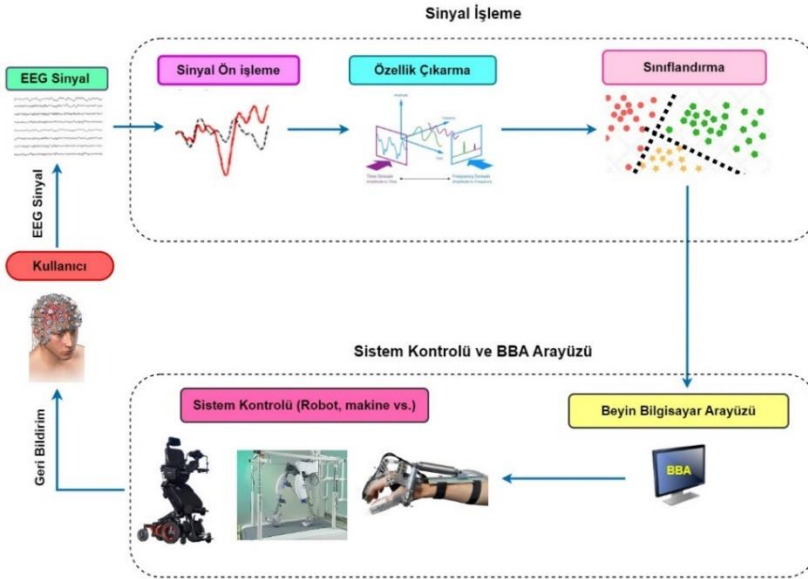
Beyin bilgisayar arayüzünün bileşenlerinin tanımlamaları yapılmıştır. Bu bileşenlerin akış diyagramında gösterimi ise şekil 3’ de yer aldığı gibidir.



Şekil 3. BBA Sistem

1. Beyin Bilgisayar Arayüzü Teknolojisinin Rehabilitasyonda Kullanımı

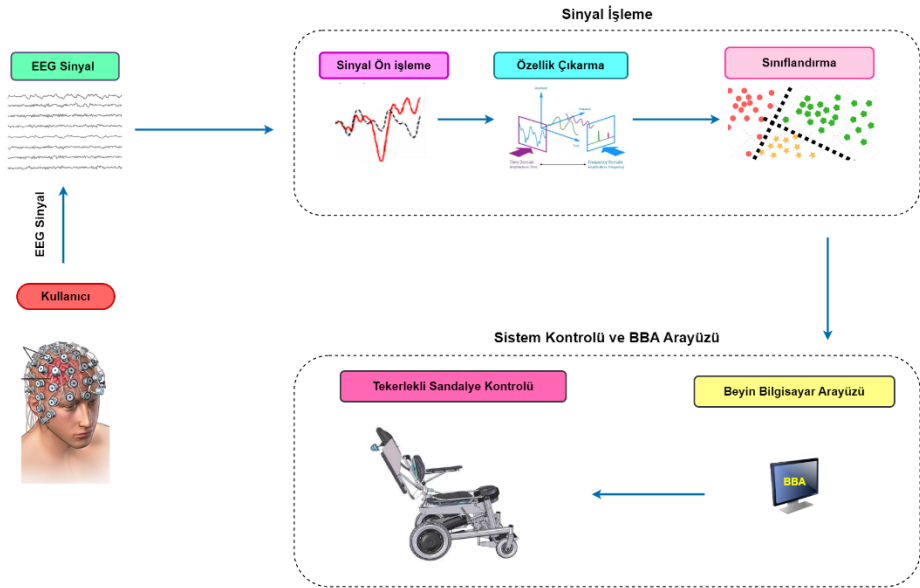
Felç, beyin hasarı ile ilgili bir sağlık sorunu olup beyni besleyen damarların kan akışından yoksun kalması durumudur. Felç rahatsızlığı sonucunda alt beyin bölgesinde yer alan ve sinyallerin motor korteksten vücuda iletilmesinde işlev yapan omurilikte hasara yol açar. Bütün bunların sonucunda ise vücutta istemli kas hareketleri kaybolur. Ancak üst beyin bölgesinde yer alan, beyin bölgesinde beyin sinyalleri normal işleyişine devam eder ve kas aktivitesinin gerçekleştirilmesini sağlayan komutlar üretilmeye devam eder. Yani beyin kas sistemi için gerekli olan sinyalleri üretir ancak bu sinyaller hasar sebebiyle kaslara ulaşamaz. Bu nedenle hastaların çevreleriyle iletişime girebilmesi için hastaların beyin sinyallerini kullanarak hastanın hayatını kolaylaştıracak teknolojiler geliştirilmiştir. Bunlardan en önemlisi ise Beyin-Bilgisayar Arayüzü (BBA) teknolojisidir. Son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte gelişen BBA teknolojisi hastaların çevreleriyle iletişim kurmasına yardımcı olur ve aynı zamanda robotlar yardımıyla da hastaların rehabilitasyonları gerçekleştirilebilmektedir (Sharma & Meena, 2024). Rehabilitasyon için kullanılan beyin bilgisayar arayüzünün çalışma adımları şekil 4'deki akış diyagramında gösterilmiştir.



Şekil 4. BBA Çalışma Adımları

2. Beyin Bilgisayar Arayüzü ile Tekerlekli Sandalye Kullanımı

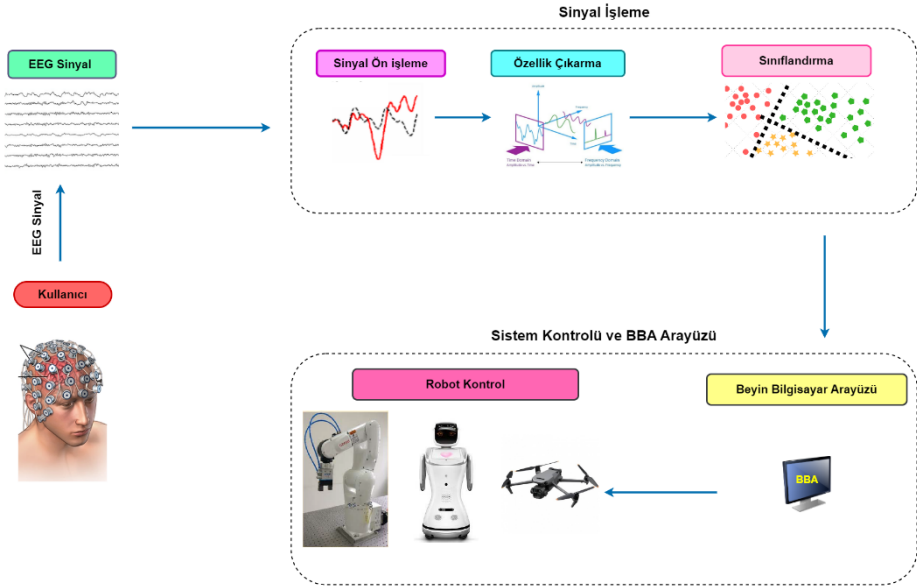
Amiyotrofik lateral skleroz, omurilik yaralanması, merkezi sinir sistem yaralanmaları gibi hastalıklarda beyin motor nöronları azalmakta ve kaslar arasındaki bilgi alışverişi ile aynı zamanda kasların kontrol mekanizması yavaşlamaktadır (Wang, H. ve ark., 2021). Bu tip hastalıklara sahip insanların hayata katılımını sağlamak ve bağımsızlıklarını sağlamak amacıyla beyin bilgisayar arayüzünden faydalanılmaktadır. Beyin bilgisayar arayüzü kullanımında EEG sinyallerinin yanı sıra EOG sinyalleri de alınarak hibrit tasarımlar geliştirilmiştir (Mai, X. ve ark., 2024). Yapılan bu çalışmalar oldukça umut verici olmalarının yanı sıra bazı kullanıcılar tarafından sistemin engellerden kaçınma davranışını güvenli bulunmamaktadır. Bu tip durumların önüne geçebilmek için kişiye özel kontrol stratejileri sistemlere dahil edilmelidir (Padfield, N., 2024). BBA tabanlı tekerlekli sandalyenin çalışma adımları şekil 5’de yer alan akış diyagramında gösterilmektedir.



Şekil 5. BBA Tabanlı Tekerlekli Sandalye Kullanımı

3. Beyin Bilgisayar Arayüzü ile Robot Kontrolü

Dünyada felç, araba kazası, iş kazası vb. gibi nedenlerle artış göstermiştir. Bu nedenle engellilerin yaşam kalitesini arttırmak amacıyla ve son yıllarda gelişmekte olan sinirbilimsel teknoloji ile beyin bilgisayar arayüzü çalışmalarına ağırlık verilmiştir (An, Y., ve ark., 2024). BBA tabanlı robot kontrolü uygulamalarında EEG cihazı, EEG cihazından elde edilen sinyalleri filtreleme, özellik çıkarma ve sınıflandırma için işleyen BBA yazılımı bulunmaktadır (Yu, Y. ve ark., 2024). Son yıllarda yapılan çalışmalar hareket kısıtı olan hastaların hayatını kolaylaştıracak BBA teknolojilerini çeşitli robotik cihazlara entegre edilmiştir. Bunlar robotik kol, otonom araçlar, insansız hava aracı vb. robotik teknolojilerdir (Bi, Z., ve ark., 2024; Li, M. ve ark., 2023; Albán-Escobar, M. ve ark., 2024; Salehzadeh, R. ve ark., 2024). Şekil 6'da BBA ile robot kontrol adımları gösterilmiştir.

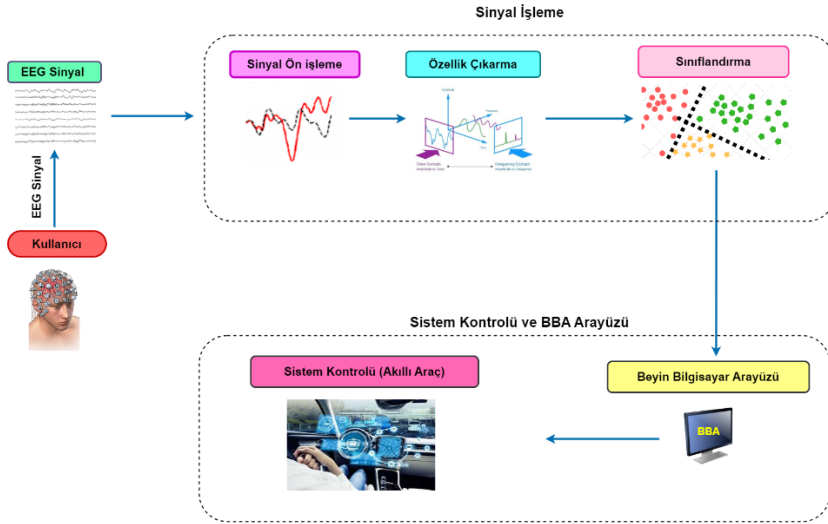


Şekil 6. BBA ile Robot Kontrol Adımları

4. Beyin Bilgisayar Arayüzü ile Araç Sürüş Güvenliğinin Sağlanması

Trafik kazalarının gerçekleşmesinin en önemli sebeplerinden biriside uyuşukluk halidir. Bu nedenle uyuşukluk halinin erken tespit edilmesi araç sürüş güvenliği için oldukça önemlidir (Akinci, R. ve ark., 2022). EEG tabanlı

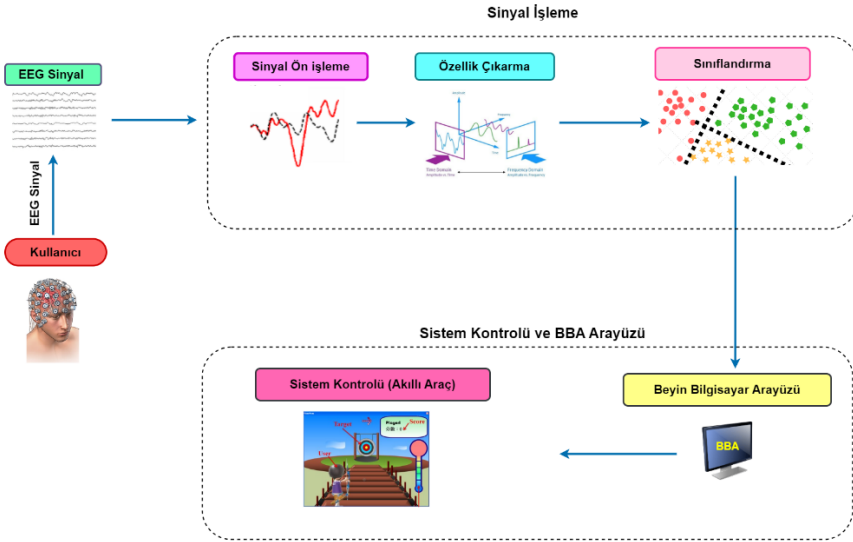
uyuşukluk tahmini sisteminin araştırılması ve uygulaması yine BBA teknolojisi yardımı ile olmaktadır (Ming, Y. ve ark., 2020). Akıllı araç teknolojisinin gelişimi ile birlikte araçlarda kullanılan BBA tabanlı sürüş güvenliği yöntemlerinde uyuşukluk tespitinin yanı sıra acil frenleme niyeti tahmini, bilişsel dikkat dağınıklığı tespiti, sürücü davranışının tahmini gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Ju, J., & Li, H., 2024; Bosch, V., & Mecacci, G., 2023; Liang, X. ve ark., 2023; Chen, X., 2020). Akıllı sürüş teknolojileri, sürüş ortamını algılamayı, yol bilgilerini elde etmeyi ve sürüş işlemine yardımcı olmayı amaçlayan engel tespit teknolojisini, nesne izleme teknolojisini ve araç kontrol teknolojilerini içerir. İnsan – araç işbirliğine dayalı sürüşün amacı sürücünün niyet kontrolünün niyet kontrolünü akıllı sürüş asistanı teknolojisi ile birleştirmektir. Bu sayede sürüş güvenliği ve performansı önemli ölçüde artabilir (Zhang, Z., ve ark., 2023). Şekil 7’de BBA ile akıllı araç kontrolünün kontrol adımları gösterilmiştir.



Şekil 7. BBA ile Akıllı Araç Kontrol Adımları

5. Beyin Bilgisayar Arayüzü ile Bilgisayar Oyunlarının Kontrol Edilmesi

Fare, klavye veya diğer oyun kumandaları gibi geleneksel araçları kullanamayan kişiler, bir bilgisayar oyununu kontrol etmek için beyin bilgisayar arayüzü tabanlı oyunlardan faydalanabilmektedirler. Ayrıca bir oyun kontrolünün sağlanması için kullanılan geleneksel araçlardan farklı bir araç kullanmak isteyenlerde olabilmektedir. Beyin bilgisayar arayüzü tabanlı oyunlarda, elektroensefalogram (EEG) verileri toplanarak katılımcıların katılımını ve eğlenciyi artırmak için beyin-bilgisayar arayüzü (BBA) araştırmalarının ve uygulamalarının birçok alanında kullanılmaktadır (Mohamed Selim, A., 2024). Beyin bilgisayar arayüzünün kullanıldığı oyunlar ile kullanılmadığı oyunlarda kullanıcı performansları ölçülerek karşılaştırma yapılmıştır. Bu çalışmaların neticesinde beyin bilgisayar arayüzü kullanılan oyunlarda oyuncuların performanslarının daha yüksek olduğu görülmüştür (Vasiljevic, G. A. M., & de Miranda, L. C., 2024). Şekil 8’de BBA ile bilgisayar oyunu kontrol adımları gösterilmiştir.



Şekil 8. BBA ile Bilgisayar Oyunu Kontrolü Adımları

KAYNAKÇA

- Akinci, R., Akdogan, E., & Aktan, M. E. (2022). Comparison of machine learning algorithms for recognizing drowsiness in drivers using electroencephalogram (EEG) signals. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 10(1), 44-51.
- Albán-Escobar, M., Navarrete-Arroyo, P., De la Cruz-Guevara, D. R., & Tobar-Quevedo, J. (2024). Assistance Device Based on SSVEP-BCI Online to Control a 6-DOF Robotic Arm. *Sensors*, 24(6), 1922.
- An, Y., Wong, J., & Ling, S. H. (2024). Development of real-time brain-computer interface control system for robot. *Applied Soft Computing*, 111648.
- Ayhancı, C., & Kekezoğlu, B. (2022). Güç Sisteminin Tam Çökmesi Sonrasında Yeniden Başlatma Özellikli Güç Üretim Santrallerinin Sistem Restorasyonundaki Önemi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 7(2), 99-112.
- Bi, Z., Mikkola, A., Andrew, W. H., Yung, K. L., & Luo, C. (2024). Brain Computer Interface (BCI) for Shared Controls of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*.
- Bosch, V., & Mecacci, G. (2023). Eyes on the road: brain computer interfaces and cognitive distraction in traffic. *Frontiers in neuroergonomics*, 4, 1171910.
- Chen, X., Huang, X., Wang, Y., & Gao, X. (2020). Combination of augmented reality based brain-computer interface and computer vision for high-level control of a robotic arm. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 28(12), 3140-3147.
- Ju, J., & Li, H. (2024). A Survey of EEG-Based Driver State and Behavior Detection for Intelligent Vehicles. *IEEE Transactions on Biometrics, Behavior, and Identity Science*.
- Korkmaz, O. E., Aydemir, O., Oral, E. A., & Ozbek, I. Y. (2023). A novel probabilistic and 3D column P300 stimulus presentation paradigm for EEG-based spelling systems. *Neural Computing and Applications*, 35(16), 11901-11915.

- Li, M., Wei, R., Zhang, Z., Zhang, P., Xu, G., & Liao, W. (2023). CVT-based asynchronous BCI for brain-controlled robot navigation. *Cyborg and Bionic Systems*, 4, 0024.
- Liang, X., Yu, Y., Liu, Y., Liu, K., Liu, Y., & Zhou, Z. (2023). EEG-based emergency braking intention detection during simulated driving. *BioMedical Engineering OnLine*, 22(1), 65.
- Mai, X., Ai, J., Ji, M., Zhu, X., & Meng, J. (2024). A hybrid BCI combining SSVEP and EOG and its application for continuous wheelchair control. *Biomedical Signal Processing and Control*, 88, 105530.
- Mertyüz, İ., Mertyüz, T., Taşar, B., & Yakut, O. (2020, October). Covid-19 disease diagnosis from radiology data with deep learning algorithms. In *2020 4th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)* (pp. 1-4). IEEE.
- Ming, Y., Wu, D., Wang, Y. K., Shi, Y., & Lin, C. T. (2020). EEG-based drowsiness estimation for driving safety using deep Q-learning. *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence*, 5(4), 583-594.
- Mohamed Selim, A., Rekrut, M., Barz, M., & Sonntag, D. (2024, June). Speech Imagery BCI Training Using Game with a Purpose. In *Proceedings of the 2024 International Conference on Advanced Visual Interfaces* (pp. 1-5).
- Padfield, N., Agius Anastasi, A., Camilleri, T., Fabri, S., Bugeja, M., & Camilleri, K. (2024). BCI-controlled wheelchairs: end-users' perceptions, needs, and expectations, an interview-based study. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 19(4), 1539-1551.
- Polat, M., Yildiz, A., & Akinci, R. (2021). Performance analysis and reduction of torque ripple of axial flux permanent magnet synchronous motor manufactured for electric vehicles. *IEEE transactions on Magnetism*, 57(7), 1-9.
- Salehzadeh, R., Bezawada, H., & Crawford, C. S. (2024, March). BCI Exploration of User Responses to Vulnerable and Expressive Robot Behaviors. In *Companion of the 2024 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction* (pp. 925-929).
- Sharma, R., & Meena, H. K. (2024). Emerging Trends in EEG Signal Processing: A Systematic Review. *SN Computer Science*, 5(4), 1-14.

- Şahin, H. (2024). Tarımsal Akıllı Sulama Sistemlerinde Yapay Zekâ, Derin Öğrenme ve Nesnelerin İnterneti Uygulamaları. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 20(1), 41-60.
- Şahin, H. (2022)-A. Dijital tarım, Tarım 4.0, akıllı tarım, robotik uygulamalar ve otonom sistemler. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 18(2), 68-83.
- Sahin, H. (2020). Investigating the effect of single and multiple electrodes on mortality ratio in electric current weed control method with NDVI technique. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(4), 1973–1984. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.698307>
- Sahin, H. (2022)-B. Investigation of the effectiveness of AC/DC electric current as a weed control method using NDVI technique. *Advances in Weed Science*, 40. <https://doi.org/10.51694/AdvWeedSci/2022;40:00018>
- Sen, F., Kircay, A., Cobb, B. S., & Akgul, A. (2024). MO-CCCII-Based Single-Input Multi-Output (SIMO) Current-Mode Fractional-Order Universal and Shelving Filter. *Fractal and Fractional*, 8(4), 181.
- Vasiljevic, G. A. M., & de Miranda, L. C. (2024). Comparing users' performance and game experience between a competitive and collaborative brain-computer interface. *Behaviour & Information Technology*, 43(1), 40-59.
- Wang, H., Yan, F., Xu, T., Yin, H., Chen, P., Yue, H., ... & Bezerianos, A. (2021). Brain-controlled wheelchair review: From wet electrode to dry electrode, from single modal to hybrid modal, from synchronous to asynchronous. *IEEE Access*, 9, 55920-55938.
- Wang, Y. M., Wei, C. L., & Wang, M. W. (2023). Factors influencing students' adoption intention of brain-computer interfaces in a game-learning context. *Library Hi Tech*, 41(5), 1594-1620.
- Yu, Y. C., Fisher, H., Busheska, A., Thompson, L., & Gabel, L. (2024, March). A Hybrid BCI for Robotic Device Navigation. In *2024 58th Annual Conference on Information Sciences and Systems (CISS)* (pp. 1-6). IEEE.
- Zhang, Z., Han, S., Yi, H., Duan, F., Kang, F., Sun, Z., ... & Caiafa, C. F. (2023). A brain-controlled vehicle system based on steady state visual evoked potentials. *Cognitive Computation*, 15(1), 159-175.

BÖLÜM 5

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ALANINDA GÜNCEL KONULAR

Öğr. Gör. Fadile ŞEN¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13647076>

¹ Harran Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Kontrol ve Otomasyon Teknolojileri Programı, Şanlıurfa, Türkiye. fadilesen@harran.edu.tr, ORCID: 0000-0001-5007-5471

GİRİŞ

Günümüzde çeşitli mühendislik ve teknoloji alanlarında yaşanan gelişmeler sayesinde birbirlerine entegre edilerek, birçok farklı alanda güncel, yenilikçi ve ufuk açıcı çalışmalara neden olmuştur. Tarım makineleri (Şahin, 2022; Şahin, 2024), yapay zekâ (Akinci ve ark., 2022), elektrik güç sistemleri ve enerji dönüşümü (Ayhancı ve ark., 2022) ve elektronik devre tasarımı (Sen ve ark., 2021; Sen ve ark., 2023; Sen ve ark., 2024) gibi güncel mühendislik alanları örnek olarak verilebilir. Bu bölümde elektrik-elektronik mühendisliği alanında çalışılan güncel konulardan bahsedilmiştir.

Uzaktan algılama (UA) ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) uzun yıllar önce birlikte kullanılmaya başlanmıştır. Birbirlerine entegre edilen bu sistemler sayesinde yeryüzüne ait nitelikleri çıkartılmasında, konuma dayalı sorunların giderilmesinde, depolanmasında ve işlenmesinde etkin bir şekilde faydalanır. UA ve CBS diğer teknolojilerle kıyaslandığında; maliyetin daha az olması, daha az emek harcanarak daha hassas ve hızlı bir şekilde bilgilerin toplanması ve toplanan bilgilerin hem güncel olması hem de çok daha kolay bir şekilde güncellenebilme gibi sağladığı imkanlarından dolayı büyük bir avantaja sahiptir.

CBS de veriler kendi arasında; grafik, raster, sözel ve diğer veriler olmak üzere dörde ayrılır. Bu çalışmada diğer veriler grubu altında yer alan ses verisi incelendi. CBS de ses verisi 20 Hz ile 20 kHz bant aralığını kapsar. Bu bant aralığı, radyo frekans bant aralığında çok düşük frekans (Very Low Frequency) (VLF) bant aralığına denk gelir. VLF bandındaki veriler; akustik uygulamalar başta olmak üzere, navigasyon işaretlerinde, askeri ve deniz altı haberleşmesinde kullanılır. Görüldüğü üzere VLF bandındaki ses verilerinin frekans bant aralığı oldukça düşüktür. Ses verilerini kayıpsız bir şekilde elde edebilmek için iyileştirme yöntemleri uygulanır. En iyi iyileştirme yöntemlerinden biri analog süzgeç (filtre) kullanmaktır. Ses verileri için en uygun olan analog süzgeci basamak (shelving) süzgeçleridir (Keserlioglu ve ark., 2020). Ancak günümüzde ses verilerini daha da iyi bir şekilde elde edebilmek için basamak süzgeçlerini kesirli-dereceli (fractional-order) olarak tasarlanmaya başlanmıştır (Kapoulea ve ark., 2020; Kapoulea ve ark., 2021; Pagidas ve ark., 2022; Sen ve ark., 2023; Sen ve ark., 2024). Basamak süzgeçleri ve basamak süzgeçlerini kesirli-dereceli olarak tasarlanması hem

elektronik hem de akustik mühendisliği alanlarında oldukça güncel ve popülerdir.

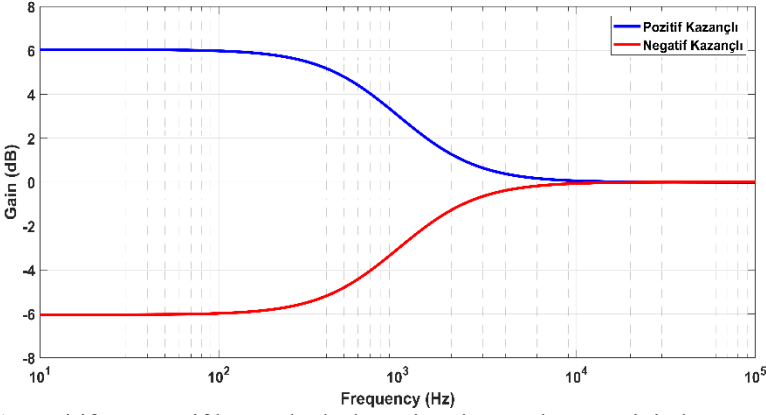
1. Basamak (Shelving) Süzgeçleri

İnsan ses algısının doğrusal olmayan özelliğinden dolayı ses yüksekliği telafisine ihtiyaç duyulur. Bu ihtiyacı gidermenin en iyi yolu basamak süzgeçleri kullanmaktır. Basamak süzgeçleri kendi içinde alçak ve yüksek-geçiren basamak süzgeçleri olmak üzere iki gruba ayrılır. Alçak-geçiren basamak süzgeçleri, geleneksel alçak-geçiren süzgeçlerden farklı olarak daha önceden belirlenmiş kesim frekansından daha yüksek frekansları olduğu gibi iletirken daha düşük frekansları ise tasarımcının isteğine bağlı olarak kuvvetlendirme veya zayıflatma işlemi yaparak iletir. Pozitif ve negatif kazançlı olacak şekilde alçak-geçiren basamak süzgeci mevcuttur. Pozitif (I_{AG_p}) ve negatif (I_{AG_n}) kazançlı alçak-geçiren basamak süzgeçlerine ait transfer fonksiyonları sırasıyla aşağıdaki denklemlerde verildi (Keserlioglu ve ark., 2020):

$$I_{AG_p} = \left[1 + \frac{a_0 \omega_0}{s + \omega_0} \right] I_g \quad (1)$$

$$I_{AG_n} = \left[1 - \frac{a_0 \omega_0}{s + \omega_0} \right] I_g \quad (2)$$

Burada a_0 süzgeç kazancını, ω_0 kesim frekansını ve I_g ise giriş akımını temsil eder. Denklem 1 ve 2 verilen transfer fonksiyonlarına ait simülasyon sonuçları Şekil 1 de gösterildi.



Şekil 1: Pozitif ve negatif kazançlı alçak-geçiren basamak süzgecinin kazanç cevabı [Sen, 2024].

Pozitif ve negatif kazançlı alçak-geçiren basamak süzgeçlerine ait düşük frekanslar bölgesindeki kazançları (K_0) aşağıdaki denklemlerle sırasıyla türetilir.

$$K_0 = 20 \log[1 + a_0] \quad (3)$$

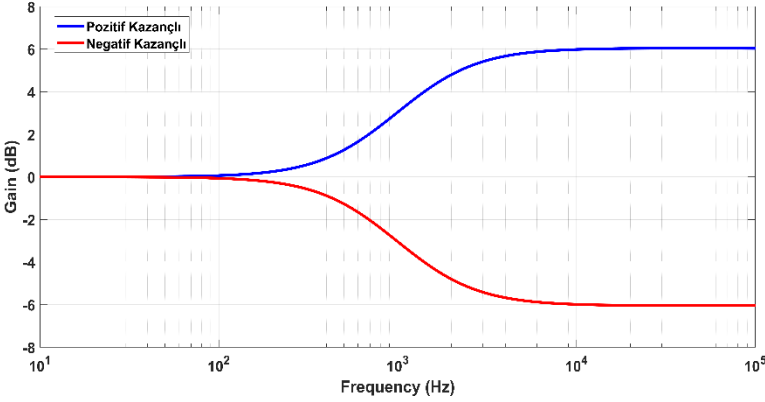
$$K_0 = 20 \log[1 - a_0] \quad (4)$$

Yüksek-geçiren basamak süzgeçleri ise geleneksel yüksek-geçiren süzgeçlerden farklı olarak yine daha önce belirlenmiş kesim frekansından daha düşük frekansları olduğu gibi iletirken, daha yüksek frekansları ise tasarımcının isteğine bağlı olarak kuvvetlendirme veya zayıflatma işlemi yaparak iletir. Belirtilen durum basamak süzgeçlerinin en önemli özelliklerindedir. Yüksek-geçiren basamak süzgeçleri pozitif ve negatif kazançlı olacak şekilde ikiye ayırılır. Pozitif (I_{YG_p}) ve negatif (I_{YG_n}) kazançlı yüksek-geçiren basamak süzgeçlerine ait transfer fonksiyonları sırasıyla aşağıdaki denklemlerde verildi (Keserlioglu ve ark., 2020):

$$I_{YG_p} = \left[1 + m \frac{s}{s + \omega_0} \right] I_g \quad (5)$$

$$I_{YG_n} = \left[1 - m \frac{s}{s + \omega_0} \right] I_g \quad (6)$$

Burada m süzgeç kazancını, ω_0 kesim frekansını ve I_g ise giriş akımını temsil eder. Denklem 5 ve 6 verilen transfer fonksiyonlarına ait simülasyon cevapları aşağıdaki şekilde verildi.



Şekil 2: Pozitif ve negatif kazançlı yüksek-geçiren basamak süzgecinin kazanç cevabı [Sen, 2024].

Pozitif ve negatif kazançlı yüksek-geçiren basamak süzgeçlerine ait yüksek frekanslar bölgesindeki kazançları (K_∞) aşağıdaki denklemlerle sırasıyla türetilir.

$$K_\infty = 20 \log[1 + m] \quad (7)$$

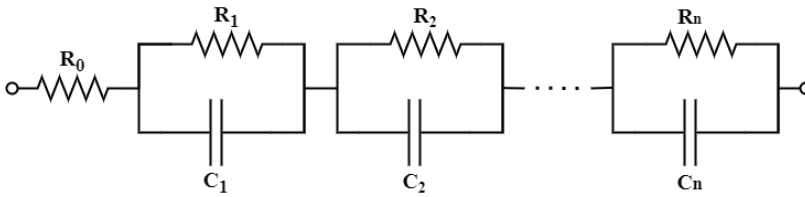
$$K_\infty = 20 \log[1 - m] \quad (8)$$

2. Kesirli-Dereceli (Fractional-Order) Basamak Süzgeçleri

Kesirli-derece hesabının temeli literatürde uzun süre önce yapılmış olmasına karşın; gerçek nesnelere, birçok doğal olayı ve sistemleri daha iyi tasarlama ve modelleyebilme yeteneği sayesinde bu metot son zamanlarda giderek büyüyen bir ilgi alanına sahip olmuştur (Sen ve ark. 2021). Elektronik süzgeçler (Kapoulea ve ark., 2020; Kapoulea ve ark., 2021; Pagidas ve ark.,

2022; sen ve ark., 2021; Sen ve ark., 2023; Sen ve ark., 2024) gibi birçok farklı alana kesirli-derece hesabı uygulanması günümüzde geniş bir popülerlik kazanmıştır, bununla birlikte literatürde kayda değer bir araştırma ve geliştirme sahası olarak öne çıkar. Bunun nedeni kesirli-dereceli süzgeçlerin frekans cevapları, geleneksel süzgeçlerden farklı olarak, sadece devre bileşenlerine değil aynı zamanda kesirli-derece parametresine de bağlıdır. Kesirli-derece parametresi süzgece ekstra bir serbestlik derecesi verir. Bu sayede hem istenilen durdurma bandı zayıflamasını hem de geçiş bandından durdurma bandına geçiş eğiminin daha keskin kontrolünü sağlar. Sonuç olarak kesirli-dereceli süzgeçler, süzgece tasarım esnekliği sunarak, süzgecin tüm gereksinimlerinin elde edilmesini sağlar.

Analog tamsayı-dereceli süzgeçleri kesirli-dereceli süzgeçlere dönüştürmek için sabit faz elemanları adı verilen kesirli-dereceli pasif elemanlara (constant phase elements) (CPEs) ihtiyaç duyulur. En çok kullanılan CPE' ler kesirli-dereceli kapasitörlerdir (fractional-order capacitors) (FOCs). FOC' lar günümüzde henüz ticari olarak üretilmemektedir. Ancak süzgeç devrelerinde FOC' ları oluşturabilmek için literatürde yer alan kesirli-dereceli filtre yaklaşım yöntemleri kullanılır. Süzgeç kazanç cevaplarında gösterdiği üstün özelliğinden dolayı en çok Oustaloup yaklaşım yöntemi tercih edilir. Bu yaklaşım yöntemlerini tasarlamak için ise uygun şekilde yapılandırılmış RC ağlarından yararlanılır (Sen ve ark. 2021). Çalışmalarda en çok Foster type-I RC ağı kullanılır. Çünkü bu ağ hem minimum sayıda pasif eleman içerir hem de bünyesindeki pasif elemanlara rağmen makul bir hassasiyet gösterir. Aşağıda verilen şekilde Foster type-I RC ağının mimarisi verildi.



Şekil 3: Kesirli-dereceli kapasitörün yapımında kullanılan Foster type-I RC ağı [Sen, 2024].

Kesirli-dereceli basamak süzgeçlerinden ilk olarak Fierro ve ark. (2019) tarafından bahsedilmiştir. Bu çalışmaya göre ISO226:2003 tarafından

oluşturulan eşit ses düzeyi (equal-loudness-level contours) (ELLC) (ISO226, 2003) standardında daha iyi bir dinleme deneyimi sağlamak için basamak süzgeçleri tasarlanmıştır. Çalışmanın sonucunda sesin frekans büyüklük tepki eğiminin 20 dB/decade az olduğu tespit edilmiştir. 20 dB/decade değerinin daha da altında bir eğimini sağlayabilmek için en iyi çözümün basamak süzgeçlerini kesirli-dereceli olarak tasarlanması gerektiğine karar verilmiştir. Çünkü kesirli-dereceli süzgeçlerin frekans büyüklük tepki eğimi $20.\alpha$ dB/decade' dir. Buradaki α süzgecin derecesidir ve $0 < \alpha < 1$ aralığındadır. 2019 yılında literatüre Fierro ve arkadaşları tarafından sunulan makalede ses frekanslarının daha iyi kullanılabilmesi için, araştırmacıları basamak süzgeçlerini kesirli-dereceli tasarlamaya teşvik etmiştir. Yazarın bildiği kadarıyla kesirli-dereceli analog basamak süzgeçlerini içeren ve 2019 yılından itibaren literatürde henüz dört adet çalışma vardır (Kapoulea ve ark., 2020; Kapoulea ve ark., 2021; Pagidas ve ark., 2022; Sen ve ark., 2023; Sen ve ark., 2024). Literatürde konuyla ilgili az çalışma olması hem konunun güncel hem de araştırmaya açık olduğunu göstermiştir.

En genel ifadesiyle kesirli-dereceli basamak süzgeçlerinin transfer fonksiyonu (H_{FO}) aşağıdaki denklemde verildi:

$$H_{FO}(s) = \sqrt{G_L G_H} \cdot \frac{(\tau_0 s)^\alpha + \sqrt{G}}{\sqrt{G} (\tau_0 s)^\alpha + 1} \quad (9)$$

Transfer fonksiyonunda, G kesirli-dereceli basamak süzgeçlerinin kazancı belirtir ve $G \equiv G_L/G_H$ dır. Burada G_L asimptotik düşük frekans kazancını ve G_H ise asimptotik yüksek frekans kazancını gösterir [6]. $G_L > G_H$ olması halinde kesirli-dereceli alçak-geçiren süzgeç gibi davranırken $G_L < G_H$ olması halinde ise kesirli-dereceli yüksek-geçiren süzgeç gibi davranır. H_{FO} transfer fonksiyonunda τ_0 zaman sabitidir ve $\tau_0 = 1/\omega_0$ dır.

Sonuç olarak kesirli-dereceli olarak tasarlanan basamak süzgeçleri, transfer fonksiyonundan da görüldüğü gibi, sisteme sağladığı extra bir serbestlik derecesi (α) sayesinde geçiş bandından durdurma bandına geçiş eğiminin daha keskin kontrolünü sağlar. Bu sayede tasarımcının ses yüksekliği telafisine duyulan ihtiyacını gidermiş olur. Kesirli-dereceli basamak süzgeçleri tepe süzgeçleri, ekolayzırları içeren çeşitli akustik uygulamalarında ve bunların yanı sıra hem yeni ve popüler olmaya başlamış hem de devam eden bir

araştırma konusu olan kontrol sistemleri alanında da uygulanabilir (Sen ve ark., 2021). Bu durum elektronik sistemler alanında daha fazla keşif ve gelişmeye olanak tanır.

KAYNAKÇA

- Akinci, R., Akdogan, E., & Aktan, M. E. (2022). Comparison of machine learning algorithms for recognizing drowsiness in drivers using electroencephalogram (EEG) signals.
- Ayhancı, C., & Kekezoğlu, B. (2022). Güç Sisteminin Tam Çökmesi Sonrasında Yeniden Başlatma Özellikli Güç Üretim Santrallerinin Sistem Restorasyonundaki Önemi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 7(2), 99-112.
- Fierro, L., Rämö, J., & Välimäki, V. (2019). Adaptive loudness compensation in music listening. In *Sound and music computing conference* (pp. 135-142). Sound and Music Computing Association.
- ISO226:2003; Acoustics: Normal Equal-Loudness-Level Contours. ISO: Geneva, Switzerland, 2003.
- Kapoulea, S., Psychalinos, C., & Elwakil, A. S. (2020, October). Fractional-order shelving filter designs for acoustic applications. In *2020 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)* (pp. 1-5). IEEE.
- Kapoulea, S., Yesil, A., Psychalinos, C., Minaei, S., Elwakil, A. S., & Bertias, P. (2021). Fractional-order and power-law shelving filters: Analysis and design examples. *Ieee Access*, 9, 145977-145987.
- Keserlioglu, M. S., & Kircay, A. (2020). Design of current-mode square-root-mode shelving filter using state-space synthesis method. In *4th international Zeugma conference on scientific researches*. Iksad Publications.
- Pagidas, A., & Psychalinos, C. (2022, December). Simple Designs of Fractional-Order Shelving Filters for Acoustic Systems. In *2022 Panhellenic Conference on Electronics & Telecommunications (PACET)* (pp. 1-4). IEEE.
- Sen, F., & Kircay, A. (2021). MO-CCCII based current-mode fractional-order universal filter. *Journal of Circuits, Systems and Computers*, 30(08), 2150132.
- Sen, F., Kircay, A., Cobb, B. S., & Karci, H. (2023). Current-mode fractional-order shelving filters using MCFOA for acoustic applications. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 163, 154608.

- Sen, F., Kircay, A., Cobb, B. S., & Akgul, A. (2024). MO-CCCI-Based Single-Input Multi-Output (SIMO) Current-Mode Fractional-Order Universal and Shelving Filter. *Fractal and Fractional*, 8(4), 181.
- Şahin, H. (2022). Dijital tarım, Tarım 4.0, akıllı tarım, robotik uygulamalar ve otonom sistemler. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 18(2), 68-83.
- Şahin, H. (2024). Tarımsal Akıllı Sulama Sistemlerinde Yapay Zekâ, Derin Öğrenme ve Nesnelerin İnterneti Uygulamaları. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 20(1), 41-60.

BÖLÜM 6

GÜÇ SİSTEMLERİNDE DAYANIKLILIK KAVRAMINA GENEL BAKIŞ

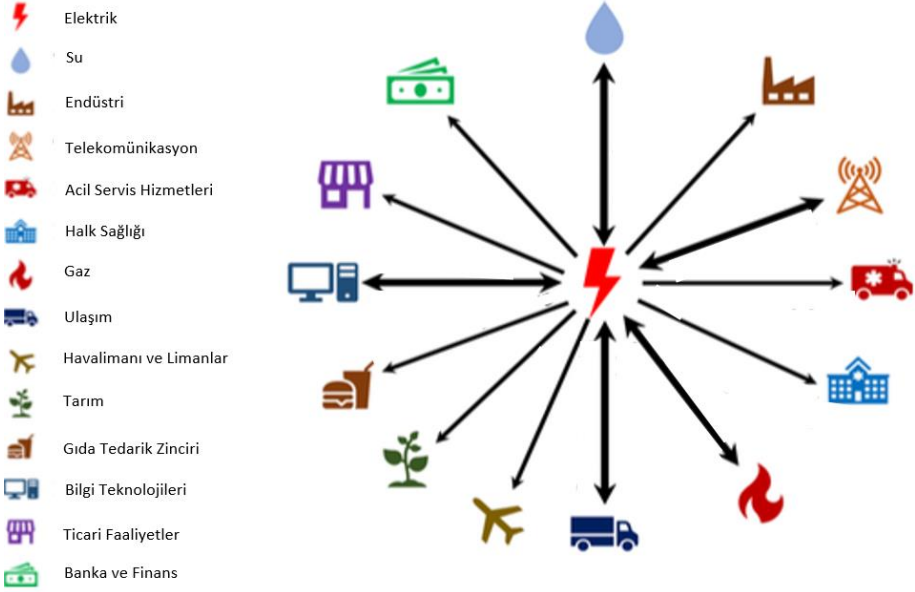
Öğr. Gör. Cihan AYHANCI¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13647094>

¹ Harran Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Elektrik ve Enerji Bölümü,
Şanlıurfa, Türkiye. ayhanci@harran.edu.tr, ORCID:0000-0001-5749-0352

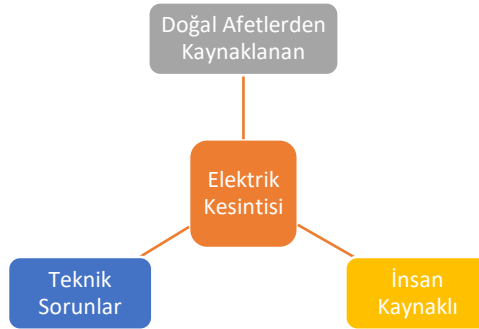
1. Giriş

Elektrik altyapısı kritik bir yaşam hattı sistemdir ve günlük hayatımızda son derece önemlidir (Mahzarnia et al., 2020). Günlük yaşamda elektriğe olan bağımlılık gün geçtikçe artmaktadır (Ayhancı & Kekezoğlu, 2022). Elektriğin sistem çökmesi sonrası kesilmesi günlük hayatı ve yaşamsal faaliyetleri sekteye uğratmaktadır (Ayhancı vd., 2017). Elektrikli araçların motorlarının geliştirilmesi, elektronik devre filtre tasarımları (Sen ve Kircay, 2021) ve tarımsal mekanizasyondaki güncel gelişmeler (Sahin H., ve Yalınkılıc M., 2017), tarımsal yabancı ot kontrolünde mikrodalga tekniği kullanılması (Şahin, 2020; Şahin, 2021; Şahin 2022), teknolojik ilerlemeyi gözler önüne sermektedir. Elektrik enerjisinin hayatımızın her aşamasındaki gerekliliği yadsınamaz bir gerçektir. Elektrik enerjisinin kesintisiz ve kaliteli olarak taşınması gerekmektedir. Kaliteden kasıt, gerilim ve frekans değerinin şebekenin nominal değerinde olması, gerilim ve akım dalgasının tam sinüsoidal olmasını ifade eder. Eğer bu şartlar sağlanmazsa elektrik şebekesinde bir süre sonra normal dışı durumlar meydana gelebilir. Koruma röleleri vasıtasıyla sistem koruma altına alınacağı için art arda meydana gelen devre dışı kalma durumları tam sistem çökmesine neden olabilir. Bunun yanında deprem, sel, fırtına gibi doğa olayları da sistemin kısmi veya tam olarak devre dışı kalmasını neden olup, herkesin elektrik enerjisinden yoksun kalmasına neden olabilir. Elektrik kesintileri, insan kaynaklı, teknik sorunlar ve doğal afetten kaynaklı olarak meydana gelmektedir. Bu durumun meydana gelmemesi için güç sistemini işleten kurum ve kuruluşlar tarafından gerekli tedbirler alınmalıdır. Devlet kurumlarının rehberliğinde güç sisteminin iyileştirilmesi ve dayanıklılığının artırılması önem arz eden konu başlıklarından biridir. Güç sistemi dayanıklılığı kavramını ifade eden bu çalışmalar ile güç sisteminin olağan dışı durumlara karşı dayanıklı ve hazır olması sağlanmalıdır. Böylece güç sisteminin kısmi ya da tam çökmesine neden olacak durumlara karşı tedbir alınmış olacaktır. Bu sistem dayanıklılığını arttırarak kısa sürede büyük etki gösteren olağandışı durumlara karşı güç sistemini hazır hale getirmiş olacaktır.



Şekil 1 Elektrikğin hayatımızdaki yeri (Chi et al., 2018)

Modern toplumların elektrik enerjisine yüksek bağımlılığı ve güç sisteminin geri kazanılması için maliyetli prosedürler nedeniyle güç sistemi kesintisi hem enerji endüstrisi hem de tüketiciler için en zorlu konulardan biridir (Bie et al., 2017).



Şekil 2 Elektrik kesintilerinin nedenleri (Bie et al., 2017)

ABD Enerji Bakanlığı'nın sunduğu raporlara göre, bu elektrik kesintilerinin kaynakları arasında doğal afetlerin, özellikle aşırı hava

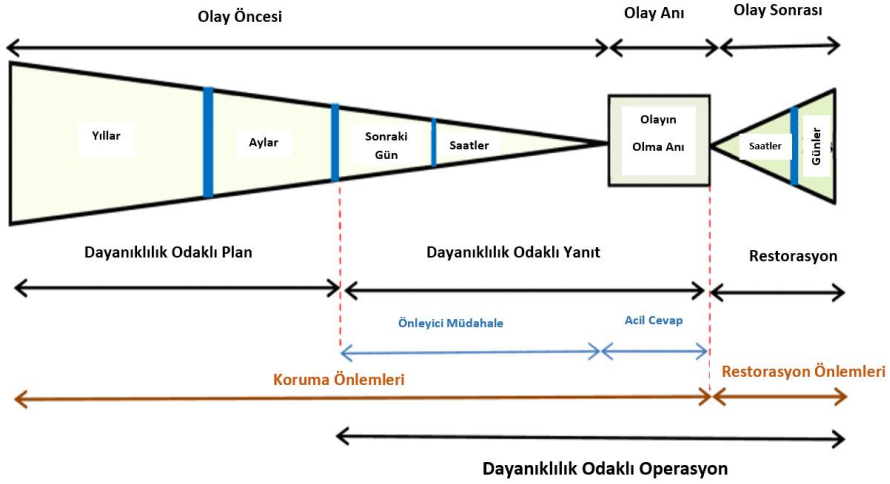
olaylarının rolü daha belirgindir. Son yıllardaki iklim değışiklikleri nedeniyle, hava ile ilgili olayların sayısı ve şiddeti dünya çapında artmıştır (Zhang et al.).



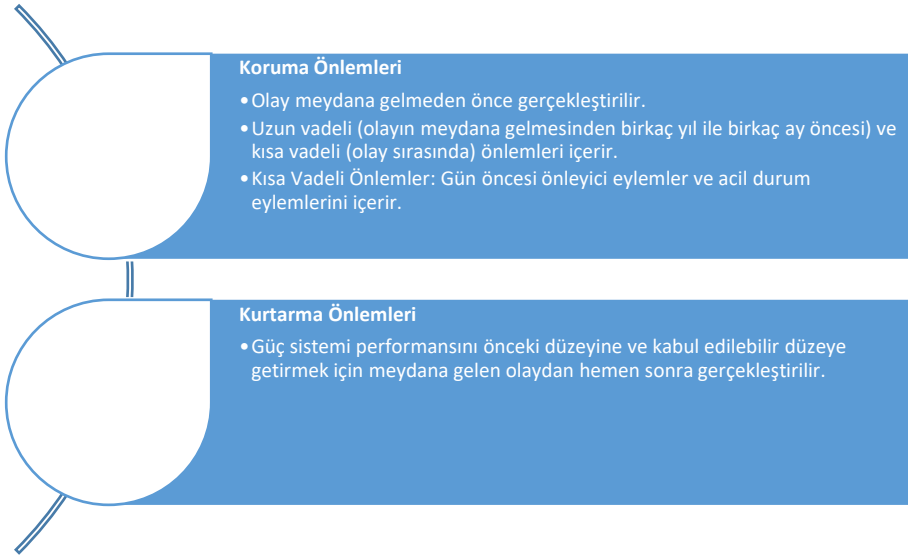
Şekil 3 Zarar görmüş güç sistemi iletim altyapısı

Güç sistemleri dayanıklılık çalışması, gelişmekte olan bir araştırma alanıdır ve bu nedenle, yüksek etkili düşük olasılıklı (HILP) doğal olaylara karşı güç sistemlerinin dayanıklılık geliştirmesinin üç aşamasının tümü (yani beklenmedik durumlar öncesi, ortası ve sonrası) hala teknolojik atılım yaklaşımları gerektirir.

Elektrik kesintilerinin kökenlerini inceleyerek, bunların çoğuna, yüksek etkili ve düşük olasılıklı (HILP) olaylar olarak bilinen, güç sistemleri üzerinde önemli sonuçlar doğuran düşük olasılıklı olaylardan kaynaklandığı sonucuna varılabilir (Guzs et al., 2022).



Şekil 4 Güç sistemi dayanıklılık sürecinin aşamaları (Zhang et al., 2018)



Şekil 4 Güç sistemi dayanıklılık planlaması (Skarvelis-Kazakos et al., 2022)

Dayanıklılık ilk olarak 1972’de Holling tarafından ekolojik sistemde bir kavram olarak tanıtıldı. “Sistemlerin kalıcılığının ve değişim ve rahatsızlıkları absorbe etme ve popülasyonlar veya durum değişkenleri arasında hala aynı ilişkileri sürdürme yeteneklerinin bir ölçüsüdür.” Geçtiğimiz birkaç on yıl boyunca, çevre bilimi, ekonomi, psikoloji, malzeme bilimi, afet mühendisliği

vb. alanlardaki araştırmalarda esneklik yaygın olarak benimsenmiştir. Enerji altyapısı, özellikle güç sistemi için, aksaklıklarla başa çıkma yeteneğine odaklanarak benzer özelliklere sahip birçok tanım ileri sürülmüştür (Lu et al., 2018). ABD Başkanlık Politika Direktifleri-21'e göre "Değişen koşullara hazırlanma ve bunlara uyum sağlama ve aksaklıklara hızla dayanma ve bunlardan kurtulma yeteneği", Birleşik Krallık Kabine Ofisi'ne göre "Yıkıcı bir olayı öngörme, özümseme, uyum sağlama ve/veya hızla iyileşme yeteneğidir." Multidisipliner Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi'ne (MCEER) göre ise "Teknik, organizasyonel, sosyal ve ekonomik boyutlarda sağlamlık, fazlalık, beceriklilik ve hızlilik" Birleşmiş Milletler Afet Azaltma Ofisi'ne göre (UNISDR) "tehlikelere maruz kalan bir sistem, topluluk veya toplumun bir tehlikenin etkilerine zamanında direnme, absorbe etme, uyum sağlama, temel yapılarının ve işlevlerinin korunması ve restorasyonu da dahil olmak üzere verimli bir şekilde bunlardan kurtulma yeteneği olarak ifade edilmektedir (Sabouhi et al., 2019)."

Dayanıklılık tanımı üzerinde fikir birliği olmamasına rağmen, dayanıklılık tanımlarının özü genel olarak aynıdır, yani feci olaylardan önce ve sonra sistem performansını kapsayan kapsayıcı bir kavramdır. Dolayısıyla dayanıklılık, "bir varlığın bir rahatsızlığı tahmin etme, direnme, özümseme, tepki verme, uyum sağlama ve ondan kurtulma yeteneği" olarak tanımlanır. CIGRE C4.47 Çalışma Grubu, esneklik kavramını sistemin bir olayın ardından sistem bozulmasının kapsamını, şiddetini ve süresini sınırlama yeteneğiyle ilişkilendirir. Bu özellik için uygulama kriteri esas olarak aşırı olaylarla ilgili olduğundan, olağanüstü bir olayın ardından sistem bozulmasının kapsamını, ciddiyetini ve süresini sınırlama yeteneği olarak ifade edilir (Sabouhi et al., 2019). Dayanıklılığın özü, yalnızca olası tüm afet senaryolarına direnmeyi değil, aynı zamanda hızlı ve verimli restorasyon önlemlerine sahip olmayı hedeflemektedir.

Güç Sistemi Dayanıklılığı, sistemde meydana gelen bozulmalara direnme, uyum sağlama ve kesintilerden zamanında kurtulma yeteneğini karakterize eder. Dayanıklı güç sistemi, aşırı doğal afetler ve insan yapımı saldırılar dahil olmak üzere düşük olasılıklı yüksek riskli aşırı olaylarla başa çıkabilmek için tasarlanır. Tehditlere karşı artan farkındalık güç sistemi dayanıklılığını popüler konu haline getirmiştir (Li et al., 2017).

2. Güç Sistemi Dayanıklılığının Temelleri

Dayanıklılık, psikoloji, ekonomi, biyoloji ve mühendislik gibi farklı uzmanlık alanlarında birçok yönü ve tanımı olan genel bir kavramdır. Dayanıklılığın genel bir tanımı 2009 yılında Birleşmiş Milletler tarafından “Tehlikelere maruz kalan bir sistemin, topluluğun veya toplumun bir tehlikenin etkilerine etkili bir şekilde direnme, absorbe etme, uyum sağlama ve bunlardan kurtulma yeteneği, temel yapılarının ve işlevlerinin restorasyon yoluyla korunması.” olarak tanımlanır. 2009 yılında, Ulusal Altyapı Danışma Konseyi (NIAC), “düşük frekanslı, yüksek etkili” olayların olumsuz sonuçlarını hafifletme yeteneği olarak dayanıklılık tanımını sundu. NIAC'ın dayanıklılık tanımına göre aşağıdaki gibi dört ana özelliği vardır [12].



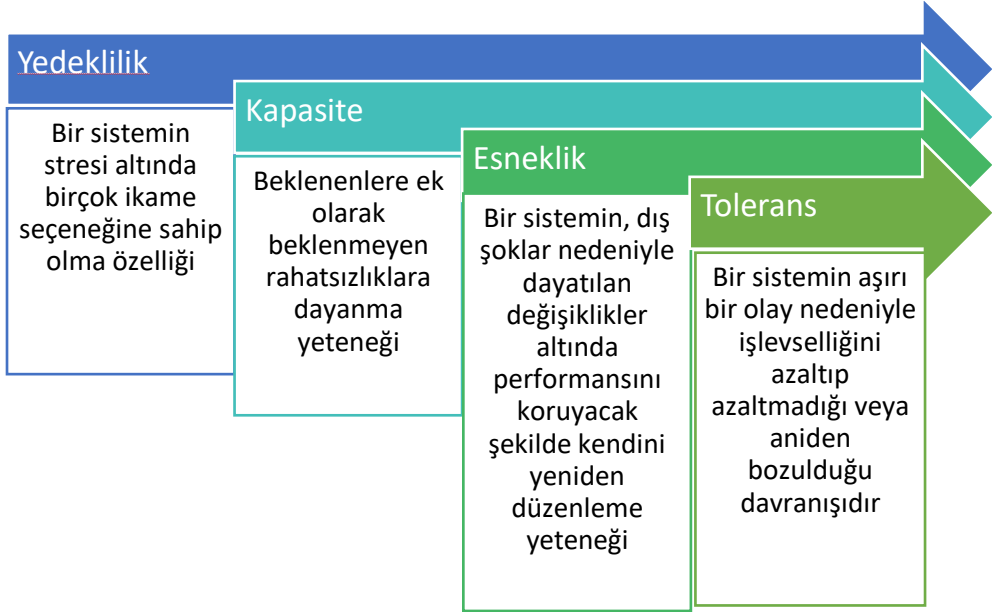
Şekil 5 Güç Sisteminin Dayanıklılık Özellikleri (Mesic et al., 2018)

Beceriklilik: Bir felaketi meydana geldiği anda ve sonrasında yönetme yeteneği.

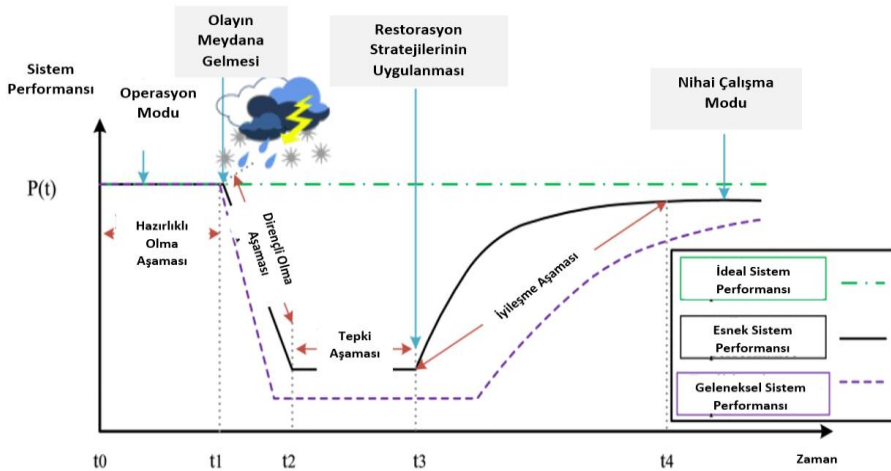
Sağlamlık: Beklenmeyen bir felaket olayını absorbe etme ve bir sistemin performansını kabul edilebilir bir seviyede tutma yeteneği.

Uyarlanabilirlik: Gelecekte meydana gelebilecek benzer olaylara karşı bir sistemin direncini artırmak için geçmiş verilerden öğrenme yeteneği.

Hızlı Kurtarma: Harici bir şokun meydana gelmesinden sonra sistem öğelerini mümkün olan en hızlı şekilde geri yükleme ve hizmet sağlama yeteneği (Jamaluddin et al., 2018).



Şekil 6 Dayanıklılık kavramıyla ilişkilendirilen diğer bazı özellikler (Pierre et al., 2018)

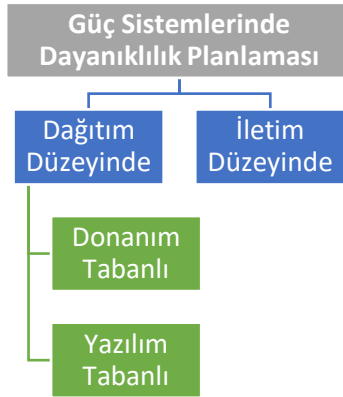


Şekil 7 Yıkıcı bir olay karşısında dayanıklı bir güç sisteminin performans seviyesindeki değişikliklerin açıklayıcı süreci (Panteli et al., 2017)

Güç sistemi operasyon modunda çalışırken system işletmecisi tarafından gerekli planlama yapılarak sistem dayanıklılığını artırmak için gerekli bölümler koordine edilmelidir. Bu süreçte sistemde arızalı durumda olan ekipmanlar yenilenmeli, kullanım süresi dolmuş olan malzemeler yenisiyle değiştirilmeli ve sistemde kısmi ya da tam çökme meydana getirecek olaylar için röle, kesici ve ayırıcı vb. Koruma elamanlarının koordinasyonu sağlanıp aynı zamanda bakımı da yapılmalıdır. Sistemde meydana gelen bozucu olay sonrasında tepki gösterilebilmesi için system dirençli hale getirilmelidir. Tepki aşamasında sistemde restorasyon stratejileri uygulanmaya başlanmalıdır. Uygulanan restorasyon stratejisi ile sistemde iyileşme sağlanarak en kısa sürede sistemin toparlanması sağlanmalıdır. Sonrasında sistem nihai çalışma moduna dönüş yaparak sağlıklı bir şekilde çalışmasına devam edecektir. Bu süreç içerisinde system ideal, esnek ve geleneksel olmak üzere üç farklı davranış biçimi gösterecektir.

3. Dayanıklılık Değerlendirmesi Yaklaşımları

Güç sistemlerinde dayanıklılık planlaması dağıtım ve iletim düzeyinde olmak üzere iki farklı şekilde planlanmaktadır. İletim düzeyindeki işlemlerde maliyetli ve uzun zamana ihtiyaç duyulurken, dağıtım düzeyinde daha karmaşık düzeydedir. Dağıtım düzeyinde yapılan dayanıklılık çalışmalarında sistemde donanımsal ve yazılımsal olarak bir takım çalışmalar yapılır. Yapılan çalışmalar ile hem sistem altyapısı iyileştirilir hem de yapılan yazılım çalışmaları ile system simülasyonu yapılarak hata durumunda istem davranışları incelenir. Sistem dayanıklılığını sağlayamayan noktalar tespit edilerek sistemde iyileştirmeler yapılır. Böylelikle sistem en alt düzeyinden en üste kadar dayanıklı hale getirilerek, sistem bozucu etkilere karşı hazırlıklı hale getirilmiş olur.



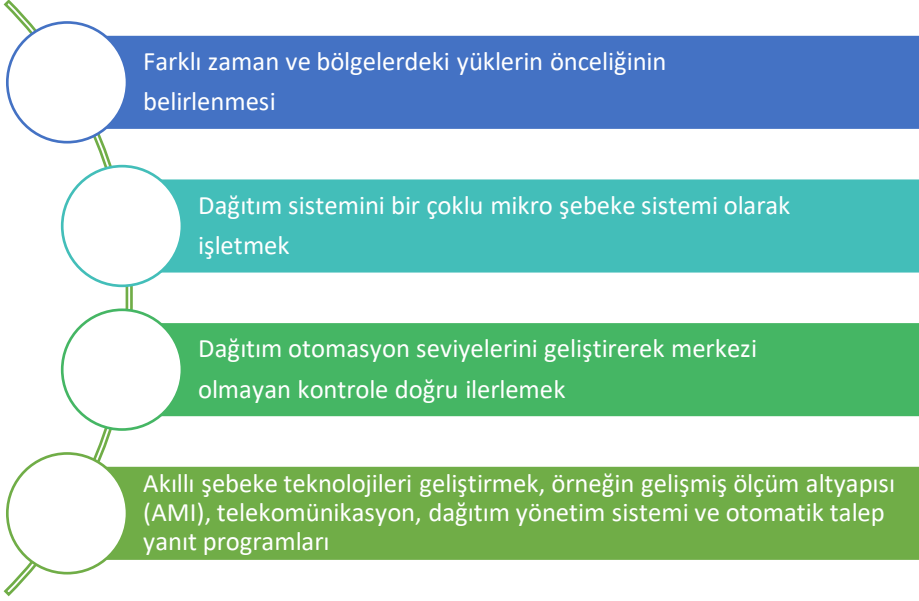
Şekil 8 Güç Sistemlerinde Dayanıklılık Planlaması (Panteli et al., 2017)

Güç sistemleri için yapılan uzun vadeli dayanıklılık planlamalarında donanım tabanlı stratejiler uygulanmaktadır. Bu stratejiler ile yapılacak bir takım çalışmalar planlanır. Bu çalışmalardan ilki, bitki örtüsünün budanmasıdır. İkincisi, dağıtım ağının hatlarının, direklerinin ve diğer bileşenlerinin sağlamlaştırılmasıdır. Üçüncüsü, havai hatların yer altına alınarak yer altı kablolarıyla değiştirilmesidir. Dördüncüsü, ek hatların, kesicilerin ve transformatörlerin kurulmasının yanı sıra yük atmalarının güncellenmesinin sağlanmasıdır. Beşincisi, dağıtım ağlarına dağıtık üretim birimlerinin entegrasyonu ile sistem dayanıklılığının artırılması sağlanacaktır.



Şekil 9 Dağıtım sistemlerinde donanım tabanlı planlama stratejileri (Panteli et al., 2017)

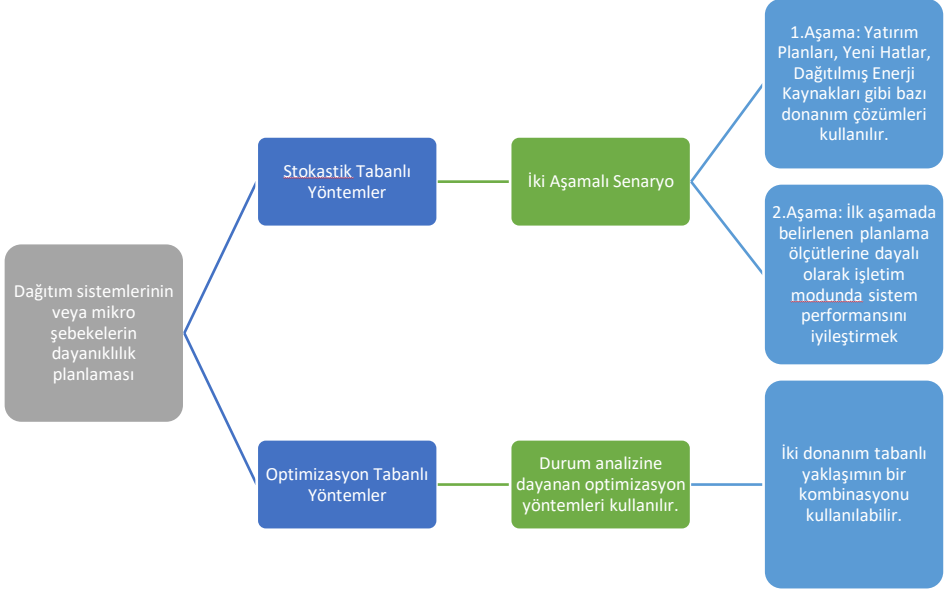
Yazılım tabanlı planlama yaklaşımlarında sistemin dayanıklılığı arttırılmaya çalışılmaktadır. Bu çalışmalar şunları içermektedir. Farklı zaman ve bölgelerde yüklerin önceliğinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Dağıtım sistemi çoklu mikro şebeke olarak işletilerek sistem dayanıklılığı arttırılacaktır. Sistem otomasyonu geliştirilerek merkezi olmayan bir çalışma yapısı amaçlanmaktadır. Akıllı şebeke teknolojileri ile gelişmiş ölçüm altyapısı, dağıtık üretim sistemi yönetimi ve otomatik yanıt programları sistem esnekliği sağlanacaktır.



Şekil 10 Yazılım tabanlı yaklaşımlar (Panteli et al., 2017)

Dayanıklılık planlaması için yazılım tabanlı yaklaşımların uygulanması, donanım tabanlı yaklaşımlara kıyasla daha uygun maliyetlidir.

Dağıtım ağı bileşenlerinin sağlamaştırılması ile birlikte dağıtık üretim ve depolama sistemlerinin optimum konumunun belirlenmesi sağlanır bu da güç sisteminin dayanıklılığını arttıracaktır. Mikro şebekelerin dayanıklılık planlaması, stokastik tabanlı yöntemler ve optimizasyon tabanlı yöntemler olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Stokastik tabanlı yöntemlerde ise iki aşamalı senaryo uygulanmaktadır. Senaryoda ilk aşama yatırım planları, yeni hatlar, enerji kaynakları gibi bazı donanım çözümleri kullanılır. İkinci aşamada ise ilk aşamada belirlenen planlama ölçütlerine dayalı olarak işletim modunda sistem performansını iyileştirme çalışmaları yapılır. Optimizasyon tabanlı yöntemlerde ise durum analizine dayanan optimizasyon yöntemleri kullanılır. Ayrıca iki donanım tabanlı yaklaşımın bir kombinasyonu olarak kullanılabilir.



Şekil 11 Dağıtım sistemlerinin dayanıklılık planlaması (Shirzadi & Nair, 2018)

İletim Sistemlerinin Dayanıklılık Planlamasında Bazı Pratik Bilgiler

1. Bitki örtüsü yönetimi ve iletim hatlarına yakın olan bitkilerin budanması.
2. Fırtına gibi aşırı olaylarla başa çıkmak için yeraltı iletim hatlarının tesis edilmesi.
3. Daha sağlam malzeme türleri kullanarak iletim ağı temellerinin ve elemanlarının güçlendirilmesi.
4. Altyapıları ve iletim hatlarını iklimle ilgili şiddetli olaylardan daha az etkilenen yerlere taşımak.
5. Yeni iletim ekipmanı inşa ederek yedek kapasiteyi ve yedekliliği artırmak.

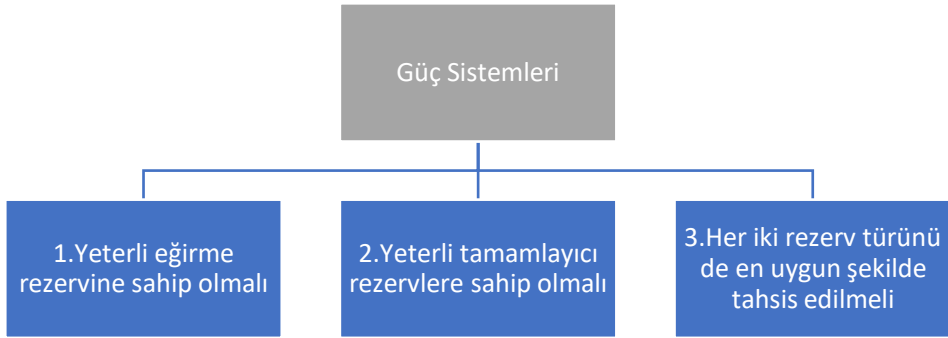
6. Sistem yeniden yapılandırması için kontrol elemanları ve iletim hatlarının güç akışını kontrol etmek için esnek alternative akım iletim sistemleri cihazları kullanılarak iletim sistemlerinin aktif kontrolü.

4. Güç Sistemlerinde Dayanıklılığa Dayalı Müdahale

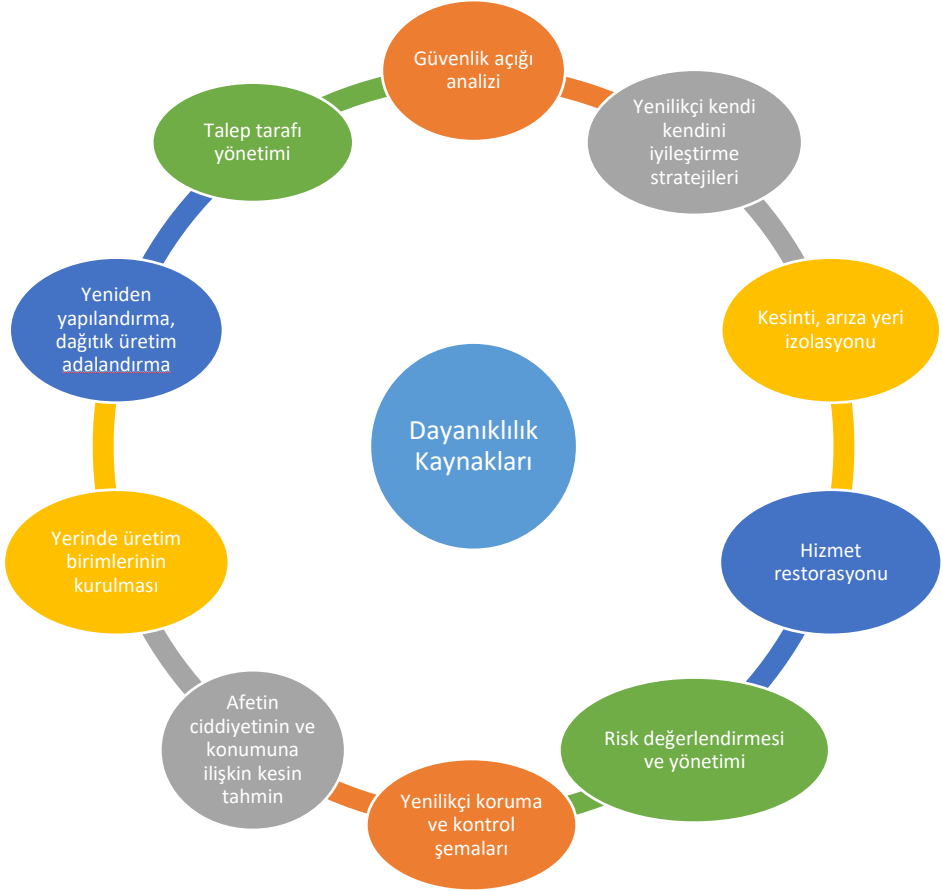
Sistem güvenliğinin sağlanması ve işletim maliyetlerinin en aza indirilmesi, güç sistemlerinin çalışması için en önemli iki konudur. Ancak, güvenlik kısıtlamalarının yerine getirilmesi ekonomik kısıtlamalardan daha öncelikli olmalıdır (Shirzadi & Nair, 2018).

*N-1 kriteri, sistem güvenliği için en güvenilir kriterlerden biridir.

*N-1 kriterini sağlayan sistem, büyük kesintileri/karartmaları önleyecek kadar sürdürülebilir bir sistemdir.



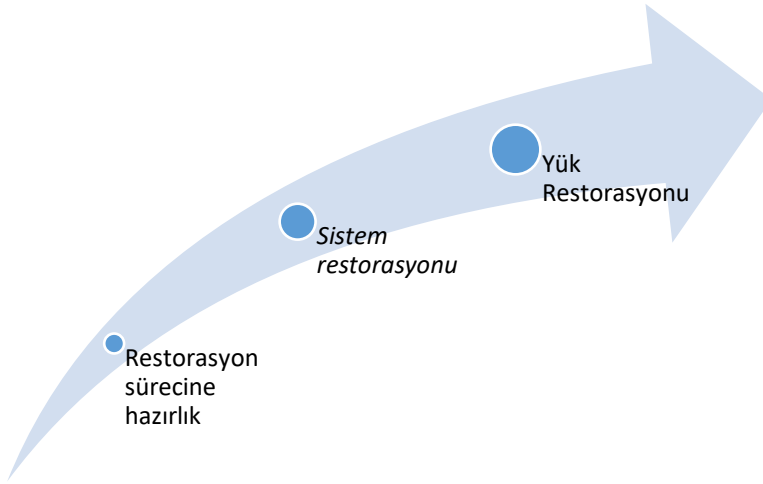
Şekil 12 Güç sistemlerinin özellikleri (Younesi et al., 2022)



Şekil 13 Güç sistemlerindeki dayanıklılık kaynakları (Younesi et al., 2022)

5. Güç Sistemlerinin Dayanıklılığa Dayalı Restorasyonu

Dayanıklılık temelli restorasyonun ana hedefleri, hizmet verilen maksimum elektrik yükü sayısına ve felaket olaylarından sonra minimum elektrik kesintisi süresine ulaşmaktır. Güç sistemlerinin esnekliğe dayalı restorasyonu için çeşitli önlemler vardır. İletim/dağıtım hatları gibi güç sisteminin bazı bileşenlerinin optimum şekilde değiştirilmesi, verimli restorasyon önlemlerinden biridir (Zhang et al., 2018).



Şekil 14 Güç sistemlerinde restorasyon süreci (Zhang et al., 2018)

6. Yüksek Yenilenebilir Enerji Kaynakları'nın Penetrasyonuna Sahip Güç Sistemlerinde Dayanıklılık

Genel olarak, yenilenebilir enerji kaynaklarının yüksek penetrasyonunun, güç sistemlerinin esnekliği üzerinde hem olumlu hem de olumsuz etkileri vardır. Genellikle, her iki etki de göz önünde bulundurularak dayanıklılık iyileştirmesi için optimal bir yaklaşım seçilebilir.

Çeşitli yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, özellikle bu kaynaklar su ve yakıt kullanım ihtiyaçlarına, iklim ve coğrafi koşullara bağlı olarak dağıtılıyorsa, doğal değişkenliklerini yumuşatmaya ve güç sistemlerinin HILP olaylarına karşı savunmasızlığını hafifletmeye yardımcı olabilir (Ciapessoni et al., 2020).

Yüksek yenilenebilir enerji kaynaklarının penetrasyonuna sahip güç sistemlerinde dayanıklılık çalışmalarında bazı yaygın sorunlar şunlardır:

1. Yüksek yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) penetrasyonuna sahip güç sistemleri durumunda, geleneksel güç sistemlerinde kullanılan esneklik kaynaklarının yeterli veya uygun olup olmadığı.
2. YEK'lerin yüksek belirsizliği ile ilgili olarak, tepe yük zamanında bir düşük olasılıklı, yüksek riskli aşırı olaylar (HILP) meydana gelirse, güç sistemleri önemli bir güç üretimi eksikliği ile karşı karşıya

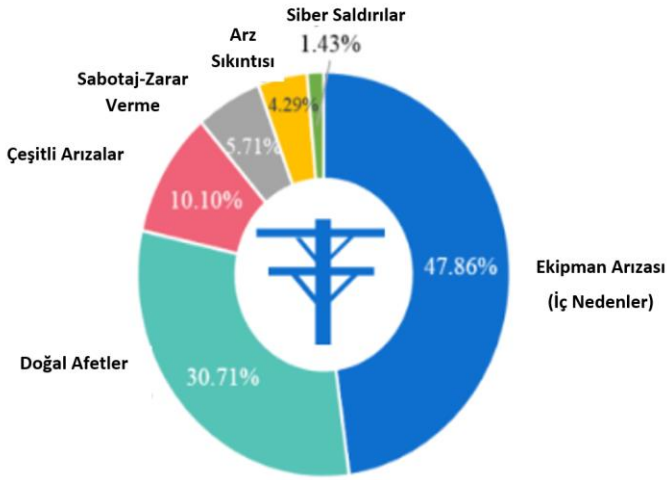
kalabilir ve ardından güç üretimi ile talep arasında büyük kesintilere yol açabilecek bir dengesizlik meydana gelebilir.

3. Yüksek YEK penetrasyonuna sahip güç sistemlerinde, her HILP olayının, güç sisteminde bulunan YEK'lerin türüne bağlı olarak dayanıklılık üzerinde belirli etkileri vardır. Örneğin, kasırgaların türbin kanatları üzerindeki yıkıcı etkilerinden dolayı rüzgar türbinleri olay anında kapatılmalıdır.

Doğal bir afetin, özellikle de kasırğa olaylarının güç sistemi dağıtım ağını etkilemesi nedeniyle oluşturduğu tehdit, bu çalışmanın ana ilgi alanıdır (Li et al., 2018). Dayanıklı güç sistemi, aşırı doğal afetler ve insan yapımı saldırılar dahil olmak üzere düşük olasılıklı, yüksek riskli aşırı olaylarla başa çıkmak için tasarlanmıştır.

Güç sistemi dayanıklılığı, aksamalara direnme, uyum sağlama ve kesintilerden zamanında kurtulma yeteneğini karakterize eder. Dayanıklı güç sistemi, aşırı doğal afetler ve insan yapımı saldırılar dahil olmak üzere düşük olasılıklı, yüksek riskli aşırı olaylarla başa çıkmak için tasarlanmıştır. Modern toplumlar bu günlerde elektrik enerjisine daha bağımlıdır ve talebe göre sürekli bir arz beklerler. Bu bağlamda, karmaşık güç sistemi, vandalizm, doğal afetler ve aşırı hava koşullarına karşı hala hassas olmasına rağmen, belirli bir kalite ve süreklilik düzeyinde elektrik enerjisi sağlamak için tasarlanmıştır. Son zamanlardaki yaygın elektrik kesintileri, sistemlerin eskiden çok düşük olasılıklı yüksek etkili olaylar için iyi hazırlanmadığını gösteriyor. Bu bağlamda, büyük kesintilere yönelik mevcut güvenlik konseptleri yetersiz kabul ediliyor ve bu nedenle dayanıklı bir şebekeye duyulan ihtiyacı doğruluyor. Esneklik, mevcut elektrik şebekesini HILP olaylarına karşı güçlendirmek için nispeten yeni bir fikirdir (Guzs et al., 2022).

Güç sistemine yönelik tehditler, insan hatalarını ve insan yapımı saldırıları da içerir. Akıllı şebeke çağında, güç sistemine gömülü iletişim, bilgi işlem ve kontrol bileşenleri, sistemi aynı anda daha karmaşık ve savunmasız hale getirir. Güç sistemi, içsel stokastiklik ve dış aksamalardan etkilenir ve işleyişi enerji akışına, sermaye akışına ve bilgi akışına bağlıdır. Büyük ölçekli bir siber-fiziksel sistem olarak, güç sistemi hedefli saldırılara karşı savunmasız olabilir.

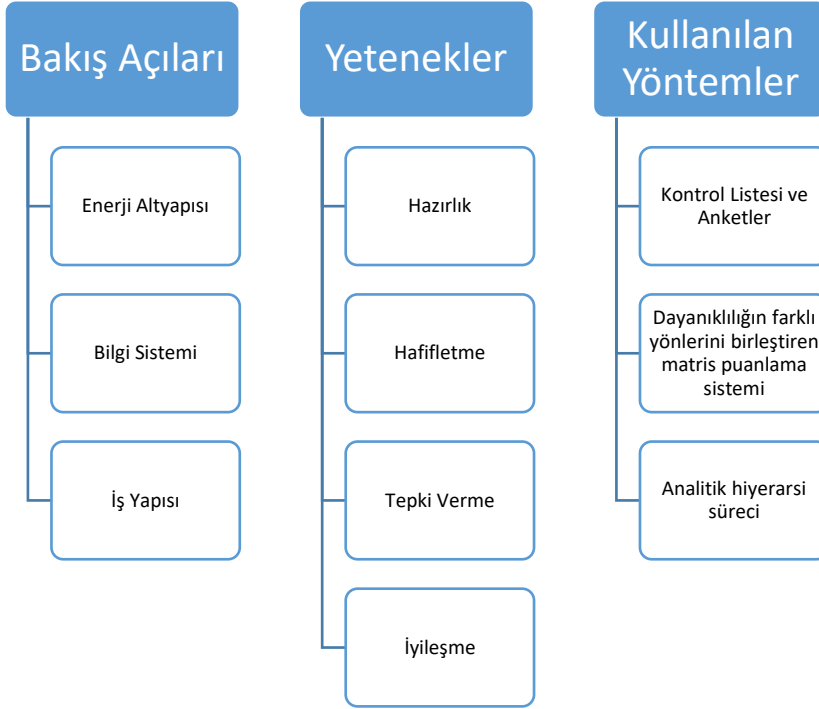


Şekil 15 1965-2012 arasında gerçekleşen 140 kesinti verisine göre elektrik kesintilerinin dağılımı

Alternatif olarak, düşük olasılıklı, yüksek kayıplı ekstrem olaylarla başa çıkmak için bir çözüm olarak dayanıklı güç sistemi kavramı ortaya atılmıştır. Daha önceki aşırı doğal afetlerde de belirtildiği gibi, kamu hizmetleri, tüm olayları her zaman önlemenin mümkün olmadığını anladı (Hosseini et al., 2016). Bu nedenle, yük atma kaçınılmaz olduğunda, sistemin kısa bir süre için bozulmuş bir şekilde çalışmasına izin vermek, sadece normal çalışma seviyesine hızlı ve verimli bir şekilde dönmek için daha uygun maliyetlidir.

6.1. Nitel ve Nicel Olarak Dayanıklılık Değerlendirmesi

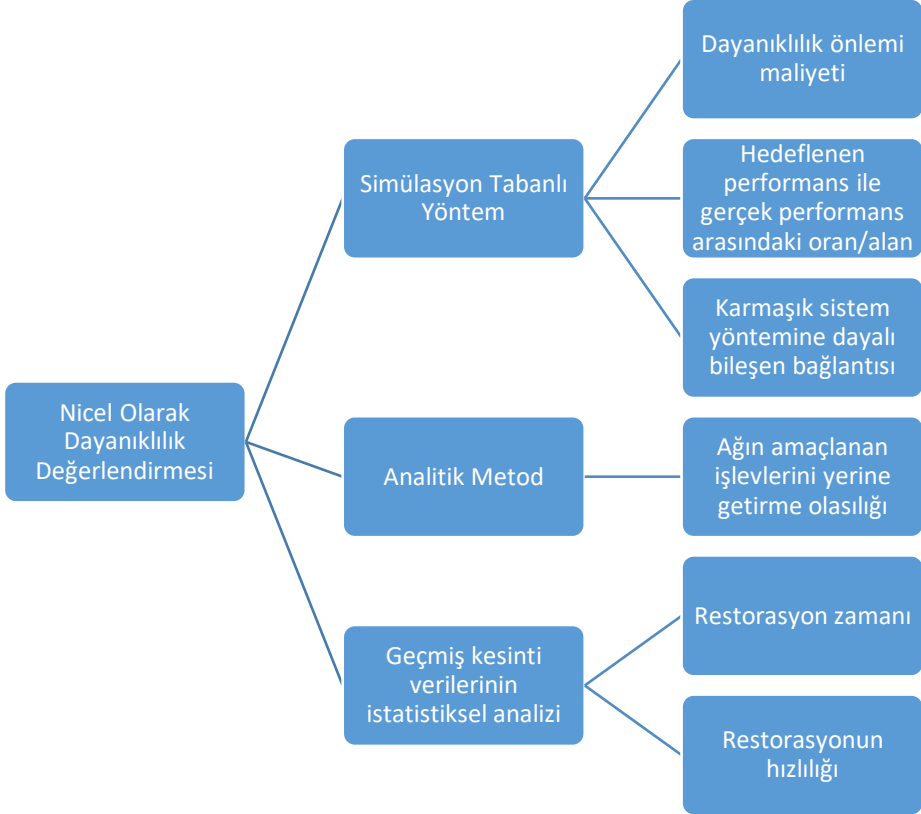
Güç sistemlerinde dayanıklılık kavramı nitel ve nicel olarak değerlendirilebilir. Nitel olarak şu üç başlıkta değerlendirilmektedir. Sisteme bakış açısı, sistem yetenekleri ve sistemde kullanılan yöntemlerdir. Sistem bakış açıları ile enerji altyapısı, bilgi sistemi ve iş yapısı iyileştirilir. Yetenekler ile güç sisteminin dayanıklılığı sağlanmaktadır. Bunlar hazırlık, hafifletme, tepki verme ve iyileşme sürecidir. Nitel olarak kullanılan yöntemler ise kontrol listesi ve anketlerin kullanılması, dayanıklılığın farklı yönlerini birleştiren matris puanlama sisteminin kullanımı ve analitik hiyerarşi sürecidir.



Şekil 16 Güç sisteminin nitel olarak değerlendirilmesi

Güç sistemlerinde dayanıklılık kavramı nicel olarak üç başlıkta incelenmektedir. Bunlar simülasyon tabanlı yöntem, analitik metod, geçmiş kesinti verilerinin istatistiksel analizidir. Simülasyon tabanlı yöntem, dayanıklılık önleme maliyeti, hedeflenen performans ile gerçek performans arasındaki oran/alan ve karmaşık sistem yöntemine dayalı bileşen bağlantısını

kapsar. Analitik metod, ağır amaçlanan işlevlerini yerine getirme olasılığıdır. Geçmiş kesinti verilerinin istatistiksel analizi ise restorasyon zamanı ve restorasyon hızı ile ölçülür.



Şekil 17 Güç sisteminin nicel olarak değerlendirilmesi (Dewulf et al., 2019)

6.2. Belirli bir süre boyunca farklı arıza senaryoları

6.2.1. Tehdit olaylarını tanınması

- Doğal afetler
- Siber saldırı

-Terör saldırısı

6.2.2. Dayanıklılık metriklerinin tanımlanması

-Restorasyon zamanı

-Yük atılması

-Dayanıklılık üçgeni alanı

6.2.3. Metodolojinin seçilmesi

-Simülasyon tabanlı

-Olasılığa dayalı

-İstatistiksel analiz

6.2.4. Değerlendirme sonuçlarını elde edilmesi

-Dayanıklılık değeri

-Beklenen değer

-Olasılık dağılımı

6.3. Dayanıklılık İyileştirme Stratejileri

Kesintilerin artan ölçeğine ve ciddiyetine yanıt olarak, kamu kurumları, güç sisteminde önemli altyapı iyileştirmeleri başlattı. Ağırlıklı olarak, bu eylemler inşaat standartlarını ve sistem koruma seviyesini artırarak aksaklıkları önlemeyi amaçlamaktadır. Bununla birlikte, güç sisteminin karmaşıklığı ve aşırı olayların ölçeği, karar vericiler için belirli zorluklar getirmektedir. Bunun bir nedeni, önceki afetlere dayalı önlemlerin, gelecekte beklenmedik afet senaryolarına karşı koruma sağlamamasıdır; diğeri ise sistem dayanıklılık seviyesi ile maliyet arasındaki dengenin sağlanması gerektiğidir. Bu nedenle, dayanıklılığı artırmaya yönelik yatırım genellikle iki farklı yöne ayrılır: sisteme direnç kazandırma ve operasyonel dayanıklılık stratejileri veya sert ve yumuşak dayanıklılık olarak bilinir. Güç sistemi dayanıklılığını geliştirmek için uygun yol haritası, daha dayanıklı bir güç sistemi oluşturmak için yatırımı optimize etmek için her ikisini de birleştirmelidir (Zhang et al.).

6.4. Dayanıklılık Stratejileri-Akıllı Şebeke Teknolojisi

Akıllı şebeke teknolojileri, sistemdeki operasyonunun genel verimliliğini iyileştirebilir ve güç sistemi görünürlüğünü ve arızalara ve kesintilere karşı sistem yanıtını artırabilir. Bu teknolojiler, güç sisteminin elektrik kesintilerini hızlı bir şekilde tespit etmesini ve yükleri daha verimli bir

şekilde geri yüklemesini sağlar. Akıllı şebeke ve akıllı dağıtım sistemi üzerinde devam eden çabalarla, esnek güç sistemi için aşağıdakiler gibi daha fazla operasyonel strateji mevcut olacaktır (Guzs et al., 2022):

- Değerlendirme ve hazırlık için risk değerlendirmesi ve yönetimi
- Afet değerlendirmesi ve öncelik belirleme
- Dağıtık üretim birimleri ve diğer yerinde üretim birimlerinin kurulumu
- Doğal afet yerinin ve ciddiyetinin doğru tahmin edilmesi
- Arıza yerinin izolasyonu ve restorasyon programının olması
- Talep tarafı yönetimi
- Mikroşebeke ile ada modunda çalışma
- Gelişmiş kontrol ve koruma şemalarının oluşturulması

Akıllı şebeke teknolojileri arasında, gelişmiş ölçüm altyapısı, elektrik şebekesinin gerçek zamanlı olarak kesinti bilgileri konusunda uyarabilir. Mikro şebekelerin dayanıklılığı birçok doğal afet ile kanıtlanmıştır.

Kritik yükler için farklı enerji kaynaklarının kullanımı sistem dayanıklılığını arttırmaya yardımcı olur (Guzs et al., 2022).

Operasyonel Dayanıklılık Durumu	Altyapı Dayanıklılık Durumu
<ul style="list-style-type: none"> • Acil Durum Öncesi Aşama • Bozulma ve Koordinasyon İlerlemesi • Acil Durum Sonrası Aşama 	<ul style="list-style-type: none"> • Tek Aşamalı Dayanıklılık Değerlendirmesi • Hedefe Yönelik Dayanıklılık Değerlendirmesi • Tüm Aşamalar için Boyutsal Değerlendirme

Şekil 18 Dayanıklılığın Aşamaları ve Etkileri (Chi et al., 2018)

6.5. Dayanıklılığı Nicel Olarak Tanımlamak için Kullanılan 3 Basit Metrik

- Bozulma sırasında dayanıklılık seviyesinin ne kadar hızlı ve ne kadar düşük olduğu

- Koordinasyon ve değerlendirme aşamasının ne kadar kapsamlı olduğu
- Restorasyon sürecinde sistem kurtarma işleminin ne kadar hızlı gerçekleştiği (Chi et al., 2018)

6.6. Güç Sistemlerinin Dayanıklılığını Engelleyen Etmenler

- **Sistemlerin Karşılıklı Bağımlılık Karmaşıklığı:** Çeşitli kamu hizmetleri tesisleri arasındaki karşılıklı bağımlılık hayati önem taşırken, güç sisteminin kendi içindeki karşılıklı bağımlılık da önemlidir.
- **Nicel Endişeler:** Birinci olarak sistemdeki farklı parçaların ağırlıklarının nasıl tanımlanacağı. Olaya/topolojiye göre daha yüksek uyulanabilirlik. Pragmatik nedenlerle metriklerin basitleştirilmesi.
- **Mevzuat ve Politika Zorlukları:** Mikro şebekelerin ve dağıtık üretim tesislerin şebekeye entegrasyonu. Restorasyon sırasında ekstra enerji ve reaktif güç desteği sağlamak için maddi destek sağlanması durumu.
- **Veri Eksikliği:** Yetersiz tarihsel veriler (acil durum sırasında toplama sürecindeki zorluklar ve idari düzeydeki bilgisizlik).
- **Dağıtık Üretim ve Reaktif Güç Kaynaklarından Destek:** Üreticilerin fiyat ve yatırım teşviki ile desteklenmesi durumu.
- **Hava Tahmini ve Coğrafi Özellik Analizi:** Hava tahmininin doğruluğu etkili önleyici tedbirlerin temeli durumundadır.

7. Sonuç

Elektrik enerjisi, günlük yaşantımızın olmazsa olmazı konumundadır. Bu enerjinin sağlanması için gerekli olan güç sistemi altyapısı kritik bir öneme sahiptir. Bu güç sisteminin elektrik enerjisi kesintisiz ve güvenilir bir şekilde tüketicilere ulaştırması beklenmektedir. Bazı durumlarda güç sistemi bozucu etkiler sonrasında devre dışı kalmaktadır. Bu durumun meydana gelmemesi için güç sistemi dayanıklılığı kavramı ortaya çıkmıştır. Olayın meydana gelme

olasılığı düşük ancak etkileri büyük olan olağanüstü olaylara karşı sistemin hazırlıklı olma durumunu ve olaylara karşı tepki verme kararlılığını ifade etmektedir. Bu çalışmada güç sistemlerinde dayanıklılık konusunda literatür taraması yapılmıştır. Güç sistemlerinde dayanıklılık konusunda yapılan farklı çalışmalar incelenmiştir. Güç sistem dayanıklılığının farklı tanımları analiz edilmiş ve özetlenmiştir.

Enerji sistemleri, potansiyel etkileri önemsizden (enerji sistemleri performansta bir değişiklik olmaksızın bunları absorbe edebilir) toplumu tehdit edenlere (restorasyon yıllar alır) kadar uzanan çok sayıda tehde maruz kalmaktadır. Dayanıklılık kavramı, bu tehditlerin çoğuna karşı önlemler geliştirmek için değerli bir bakış açısı sağlar. Orta düzeyde kesintilerle daha ekonomik bir şekilde başa çıkmayı sağlar. Aşırı ve daha az bilinen tehditlerin üstesinden gelmek için esastır. Belirsizliklerdeki mevcut büyüme ve enerji sistemi kesintilerinin potansiyel toplumsal maliyetleri, dayanıklılığı enerji sistemlerinin tasarımı ve işletimi için başlıca hususlar arasına yerleştirmektedir.

Esnek bir enerji sistemi tasarlamak, birden fazla alanda kullanılan dayanıklılık kavramından elde edilen bol deneyimlerin yanı sıra farklı enerji güvenliği ve güvenilirlik çalışmalarından gelen tehditler hakkındaki bilgiler üzerine inşa edilebilir. Dayanıklı bir sistem genellikle yüksek yedeklilik, işlevsel çeşitlilik, uyarlanabilirlik ve modülerlik ile karakterize edilir. Muhtemelen, dayanıklı bir sistemin en belirgin yönü, kırılma yerine bükülme yeteneğidir, yani, kaçınılmaz hasarı, hasarın kapsamını ve/veya süresini azaltmaya izin verecek şekilde kontrol edebilmesidir. Kesintilerden kurtulma yeteneği, aslında, ortak temalara rağmen gözle görülür şekilde farklılık gösteren neredeyse tüm enerji sistemi dayanıklılık tanımlarında mevcuttur. Bir hasarın kapsamı ve süresi, dayanıklılık eğrisinin bir temsilini alan dayanıklılık göstergelerinin çoğu tarafından ölçülür; kesinti sırasında sistem performansı değişir. Güç sisteminin elektrik arz güvenliğinin sağlanması için kamu kurumlarının rehberliğinde sistem işletmecileri tarafından gerekli dayanıklılık hazırlık çalışmaları yapmaları çok büyük bir öneme sahiptir. Her geçen daha karmaşık hale gelen güç sistemlerinin dayanıklılığının artırılması, kamunun kesintisiz elektrik enerjisine ulaşımına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Ayhancı, C., & Kekezoğlu, B. (2022). Güç Sisteminin Tam Çökmesi Sonrasında Yeniden Başlatma Özellikli Güç Üretim Santrallerinin Sistem Restorasyonundaki Önemi [The Importance of Power Generation Plants with Blackstart on Power System Restoration after Blackout]. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 7(2), 99-112. <https://doi.org/10.46578/humder.1098164>
- Ayhancı, C., Yoldas, B. Y., & Kekezoglu, B. (2017). [Blackout and blackstart on power systems]. *PressAcademia Procedia*, 5(1), 190-197. <https://doi.org/10.17261/Pressacademia.2017.589>
- Bie, Z., Lin, Y., Li, G., & Li, F. (2017). Battling the extreme: A study on the power system resilience. *Proceedings of the IEEE*, 105(7), 1253-1266.
- Chi, Y., Xu, Y., Hu, C., & Feng, S. (2018). A state-of-the-art literature survey of power distribution system resilience assessment. 2018 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM),
- Ciapessoni, E., Cirio, D., Pitto, A., & Sforna, M. (2020). Quantification of the benefits for power system of resilience boosting measures. *Applied Sciences*, 10(16), 5402.
- Dewulf, A., Karpouzoglou, T., Warner, J., Wesselink, A., Mao, F., Vos, J., Tamas, P., Groot, A. E., Heijmans, A., & Ahmed, F. (2019). The power to define resilience in social–hydrological systems: Toward a power-sensitive resilience framework. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 6(6), e1377.
- Guzs, D., Utans, A., Sauhats, A., Junghans, G., & Silinevics, J. (2022). Resilience of the Baltic power system when operating in island mode. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 58(3), 3175-3183.
- Hosseini, S., Barker, K., & Ramirez-Marquez, J. E. (2016). A review of definitions and measures of system resilience. *Reliability Engineering & System Safety*, 145, 47-61.
- Jamaluddin, K., Alwi, S. R. W., Manan, Z. A., Hamzah, K., & Klemeš, J. J. (2018). Hybrid power systems design considering safety and resilience. *Process Safety and Environmental Protection*, 120, 256-267.

- Li, J., Liu, F., Chen, Y., Shao, C., Wang, G., Hou, Y., & Mei, S. (2018). Resilience control of dc shipboard power systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 33(6), 6675-6685.
- Li, Z., Shahidehpour, M., Aminifar, F., Alabdulwahab, A., & Al-Turki, Y. (2017). Networked microgrids for enhancing the power system resilience. *Proceedings of the IEEE*, 105(7), 1289-1310.
- Lu, J., Guo, J., Jian, Z., Yang, Y., & Tang, W. (2018). Dynamic assessment of resilience of power transmission systems in ice disasters. 2018 International Conference on Power System Technology (POWERCON),
- Mahzarnia, M., Moghaddam, M. P., Baboli, P. T., & Siano, P. (2020). A review of the measures to enhance power systems resilience. *IEEE Systems Journal*, 14(3), 4059-4070.
- Mesic, M., Andric, A., & Markota, B. (2018). Improvement the resilience of the regional power system in Croatia. 2018 AEIT International Annual Conference,
- Panteli, M., Mancarella, P., Trakas, D. N., Kyriakides, E., & Hatziargyriou, N. D. (2017). Metrics and quantification of operational and infrastructure resilience in power systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 32(6), 4732-4742.
- Pierre, B. J., Arguello, B., Staid, A., & Guttromson, R. T. (2018). Investment optimization to improve power system resilience. 2018 IEEE International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS),
- Sabouhi, H., Doroudi, A., Fotuhi-Firuzabad, M., & Bashiri, M. (2019). Electrical power system resilience assessment: A comprehensive approach. *IEEE Systems Journal*, 14(2), 2643-2652.
- Sahin, H., & Yalınkılıç, M. (2017). Using Electric Current as a Weed Control Method. *European Journal of Engineering and Technology Research*, 2(6), 59-64. <https://doi.org/10.24018/ejeng.2017.2.6.379> .
- Sahin, H. (2020). Investigating the effect of single and multiple electrodes on mortality ratio in electric current weed control method with NDVI technique. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(4), 1973-1984. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.698307>

- Şahin, H. (2021). Mikrodalga ile yabancı ot kontrolü yönteminde farklı kabin boyutlarının mortalite oranına ve enerji yoğunluğuna etkisinin araştırılması. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 6(2), 80–90.
- Sahin, H. (2022). Investigation of the effectiveness of AC/DC electric current as a weed control method using NDVI technique. *Advances in Weed Science*, 40. <https://doi.org/10.51694/AdvWeedSci/2022;40:00018>
- Sen, F., & Kircay, A. (2021). MO-CCCII Based Current-Mode Fractional-Order Universal Filter. *Journal of Circuits, Systems and Computers*, 30(08), 2150132. <https://doi.org/10.1142/s0218126621501322>
- Shirzadi, S., & Nair, N.-K. C. (2018). Power system resilience through microgrids: A comprehensive review. 2018 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC),
- Skarvelis-Kazakos, S., Van Harte, M., Panteli, M., Ciapessoni, E., Cirio, D., Pitto, A., Moreno, R., Kumar, C., Mak, C., & Dobson, I. (2022). Resilience of electric utilities during the COVID-19 pandemic in the framework of the CIGRE definition of Power System Resilience. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 136, 107703.
- Younesi, A., Shayeghi, H., Wang, Z., Siano, P., Mehrizi-Sani, A., & Safari, A. (2022). Trends in modern power systems resilience: State-of-the-art review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 162, 112397.
- Zhang, H., Bie, Z., & Li, G. Three-module Power System Resilience Assessment Framework under Different Types of Disasters.
- Zhang, H., Bie, Z., Yan, C., & Li, G. (2018). Post-disaster power system resilience enhancement considering repair process. 2018 China International Conference on Electricity Distribution (CICED),

BÖLÜM 7

NANO MALZEMELERİN KOMPOZİTLERE ETKİSİ

Öğr. Gör. Dr. Cenap GÜVEN¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13647031>

¹ Harran Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye. cenap_guven@harran.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-9868-3249>

GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte kompozit malzemelere ilgi giderek artmaktadır. Savunma sanayisinde, enerji, otomotiv, havacılık ve denizcilik sektörleri gibi birçok alanda kompozit kullanımı, geçmişte kullanılan metal, plastik ve seramik gibi malzemelerin yerini almaktadır (Kırar et al., 2023; Kırar et al., 2023; Sahin., 2014). Tarımsal yabancı ot kontrol yöntemi olarak elektrik ve mikrodalga enerjinin kullanımı ile ilgili güncel makaleler öne çıkmaktadır (Şahin, 2020, Şahin, 2021, Sahin, 2022). Spor malzemelerinde, tıp alanında, müzik aletlerinde ve son zamanlarda binaların depreme dayanıklı hale getirilmesi için kolonları güçlendirmede bile kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerin hafif olması, mekanik özelliklerinin, korozyon dayanımının ve darbe dayanımının iyi olması başlıca tercih edilme sebebidir (Kırar et al., 2024).

Kompozitler, matris ve takviye olmak üzere iki ana parçadan oluşur. Matris elemanı, plastik şekil değişimine geçiş sırasında oluşabilecek hasarları önlemek için tasarlanmıştır. Takviye elemanı ise kompozit malzemelerde mukavemeti sağlar. Matris türü olarak metal, polimer ve seramik; takviye türü olarak da parçacıklı ve fiber yapıları olarak genellikle sınıflandırılmaktadır (Güven et al., 2024).

Nanokompozitler ise nano büyüklüğündeki (100 nm'den küçük) malzemelerin matris içerisine katılmasıyla meydana gelen kompozit türüdür. Nano malzemeler, kompozitlerin mekanik, kimyasal, fiziksel, termal ve elektriksel olarak birçok özelliğini iyileştirmektedir (Theodore et al., 2011; Joshi & Chatterjee., 2016). Kullanılan nano malzemenin özelliğine ve oranına bağlı olarak kompozitlerin özellikleri geliştirilebilir. Nano malzemelerin yüksek en-boy oranları en önemli avantajlarıdır (Thostenson et al., 2005).

Nano boyutlu malzemeler kompozitlerde metal, seramik ve polimer matris içerisine katılarak nanokompozitleri oluşturur. Nano malzemeler boyutlarına göre sıfır, bir, iki ve üç boyutlu olarak sınıflandırılır (Nanografi). Nano malzeme türlerine; nanopartiküller, nanodolgunlar, nano fiberler, nanofilmler ve nanotel gibi malzemeler örnek olarak gösterilebilir (Mc Crum N.G et al., 1996).

1. **Sıfır boyutlu nano malzemeler:** Kuantum noktaları, yarı iletkenler, içi boş nano küreler, fullerenler.
2. **Bir boyutlu nano malzemeler:** Nanoteller, nanoçubuklar, nanotüpler, nanofiberler.
3. **İki boyutlu nano malzemeler:** Nanofilmler, nanokaplamalar (Hosokawa et al., 2007).
4. **Üç boyutlu nano malzemeler:** Nanopartiküller (Kumar et al., 2022).

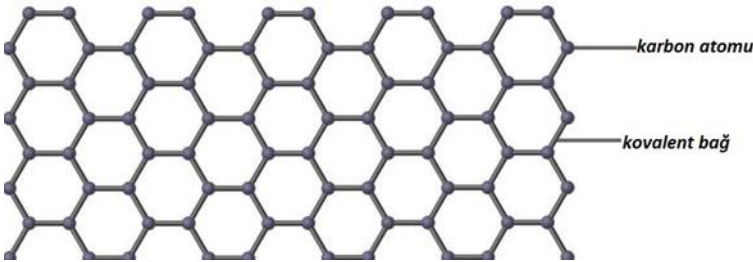
Nanokompozit malzemelerin çeşitli kullanım alanları vardır. Bunlardan bazıları otomotiv, havacılık ve spor endüstrisinde yüksek mukavemetli ve hafif parçalar üretiminde, elektronik sektöründe sensörler ve akıllı cihazlarda performans artırıcı olarak, inşaat ve yapı malzemelerinde dayanıklılığı artırmak için gıda endüstrisinde ambalaj koruyucu olarak ve enerji alanında pil ve batarya teknolojilerini geliştirmek için kullanılır.

Nanokompozit malzemeler, nanoteknolojinin getirdiği özellikler sayesinde birçok alanda yenilikçi çözümler sunmaktadır.

1.Nano Malzemeler ve Özellikleri

1.1. Grafen

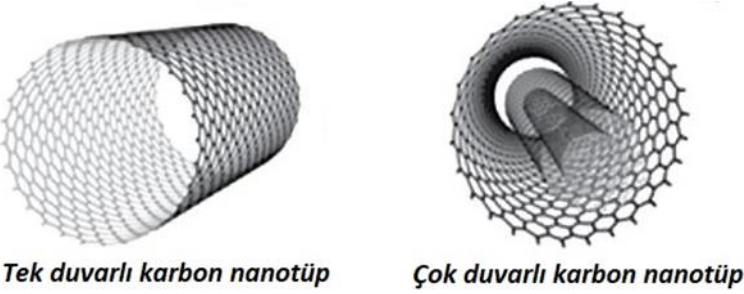
Grafen, iki boyutlu düzlemsel bir yapıya sahip olan, karbon atomlarının altıgen bir ızgara (bal peteği) oluşturmasıyla meydana gelen bir malzemedir (Li et al., 2016). Saf karbondan oluşan grafen, bir atom kalınlığında olup hafif ve esnektir. Ayrıca kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri çok yüksektir. Dayanımı çeliğe kıyasla 200 kat daha iyidir. Yoğunluğu düşük, elektrik ve ısı iletkenliği ise oldukça iyidir. Enerji, tıp, gıda, spor sektörlerinde ve savunma sanayisinde geniş bir kullanım alanına sahiptir.



Şekil 1.1. Grafen'in yapısı

1.2. Karbon Nanotüpler

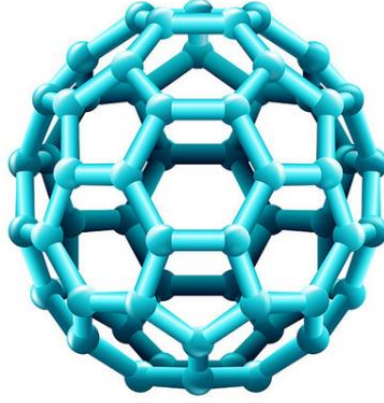
Karbon nanotüpler, grafenin silindirik formudur ve tek duvarlı ve çok duvarlı olmak üzere ikiye ayrılır. Tek duvarlı karbon nanotüpler, tek bir grafen tabakasının silindirik form haline gelmesiyle oluşur (Thostenson et al., 2001). Yüksek uzunluk/çap oranına sahiptirler (Gommans et al., 2000). Çok cidarlı nanotüpler, iç içe geçmiş birden fazla tabakadan oluşur. Karbon nanotüplerin mekanik, termal ve elektrik özellikleri çok yüksektir. Tek duvarlı karbon nanotüplerin gerilme ve elastisite modülleri, çok duvarlı karbon nanotüplerden daha yüksektir. Uygulama alanları arasında sensörler, li-ion piller, güneş enerjisi sistemleri, elektronik cihazlar, süper kapasitörler ve yakıt hücreleri gibi alanlar yer alır.



Şekil 1.2. Tek duvarlı ve çok duvarlı karbon nanotüp yapısı

1.3. Fullerenler

Fullerenler, karbon atomlarının üç boyutlu küresel veya çok yüzeyle yapılar oluşturmasıyla meydana gelir. Genellikle C60 olarak bilinen bu yapılar, diğer karbon yapılarından farklı olarak kapalı bir kafes yapısına sahiptir. Yüksek mekanik dayanımı, kimyasal kararlılığı ve elektriksel özellikleri sayesinde elektronik, enerji depolama ve tıp alanlarında kullanılır.



Şekil 1.3. Fulleren yapısı

1.4. Nanopartiküller

Nanopartiküller, 1-100 nanometre boyutlarında olan parçacıklardır. Bu parçacıklar, yüksek yüzey alanı/hacim oranına sahip olup kimyasal reaksiyonları hızlandırabilir ve malzemelerin özelliklerini iyileştirebilir. Metal oksit nanopartikülleri, polimer nanopartikülleri ve manyetik nanopartiküller gibi çeşitli türleri bulunmaktadır. Bu nanopartiküller, katalizörler, ilaç taşıma sistemleri, güneş pilleri ve sensörler gibi birçok alanda kullanılır.

Nanokil nanopartikülleri

Nanokil, endüstride kullanılan doğal bir malzemedir. Büyük bir kısmı ince taneli ve filossilikatlı minerallerden meydana gelir. Kil mineralleri silika tetrahedral tabaka ve alümina oktahedral tabakadan oluşur. Tabaka düzenlerinin farklılaşması nanokil çeşitliliğini artırır. Nanokillerin en boy oranları 100 ile 1000 arasından değişkenlik gösterir (Rafiee & Shahzadi., 2019). Montmorillonit ve halloysit en çok araştırma yapılan nanokil türleridir. Mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri mükemmel olduğu için geniş bir kullanım alanına sahiptir. Otomotiv, ilaç, havacılık ve paketlenme gibi birçok alanda kullanılır.

Titanyum Dioksit (TiO₂) nanopartikülleri

Anatas, rutil ve brookit olmak üzere üç farklı çeşide sahiptir. Kristal yapıları anataz ve rutilin tetragonal, brookitin ise ortorombiktir. Güçlü UV ışık filtrelemesi nedeniyle pigment, boya katkı maddesi ve güneş koruyucu olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır (Sang et al., 2014). Fotokataliz özelliği

sayesinde medikal uygulamalarda, solar enerji sistemlerinde, kendi kendini temizleyen yüzeylerin geliştirilmesinde ve organik kirleticilerin arıtılmasında kullanılmaktadır.

Alüminyum Oksit (Al_2O_3) nanopartikülleri

Yüksek mukavemeti, yüksek sertliği, geniş yüzey alanı ve iyi kimyasal özellikleri gibi benzersiz özellikleri nedeniyle geniş bir uygulama alanına sahiptir (Gudkov et al., 2022). Seramik ve plastik gibi malzemelerde darbe, aşınma direncini ve yoğunluğu arttırmak için kullanılır (Zemtsova et al., 2015).

1.5. Nanofiberler

Nanofiberler, çapı nanometre ölçeğinde olan liflerdir. Yüksek yüzey alanı, mekanik dayanım ve esneklik gibi özelliklere sahiptirler. Nanofiberler, filtreleme sistemleri, biyomedikal uygulamalar, kompozit takviyeleri ve enerji depolama cihazları gibi alanlarda kullanılır.

1.6. Nanofilmler ve Nanokaplamalar

Nanofilmler ve nanokaplamalar, nanometre kalınlığında olan ince tabakalardır. Bu tabakalar, yüzey özelliklerini iyileştirmek, korozyon direncini artırmak, optik ve elektronik özellikleri geliştirmek için kullanılır. İnce film kaplama teknolojileri, elektronik cihazlarda, optik sistemlerde, medikal cihazlarda ve otomotiv sanayisinde yaygın olarak kullanılır.

2.Nano Malzemelerin Kompozitlere Etkisi

2.1. Mekanik Özellik

Matris içerisine katılan nano malzemeler matristeki yüzey/ hacim oranının fazla olmasından dolayı diğer kompozit türlerine göre mekanik özellik bakımından daha iyi performans gösterir. Karbon nano tüpler (CNT), Grafen, nanopartikül türleri ve bazı metal alaşımları çekme, eğilme, basma, kayma ve darbe mukavemetinin iyileştirmenin yanı sıra elastisite ve kayma modüllerini gibi kompozitlerin birçok özelliğini geliştirir.

Günümüzde nanokompozit ile ilgili çalışmalar gittikçe artmaktadır. (Güven et al. 2022), %2 oranındaki Al_2O_3 ve TiO_2 nanopartiküllerini cam elyaf takviyeli polimer kompozitlere ekleyerek bu partiküllerin matris- fiber arasında iyi bir arayüz bağı oluşturduğunu ve matristen fiber elemanına olan yük aktarımını iyileştirmesi sonucuna ulaşımlardır. (Suresha et al., 2021), %0,3 oranına kadar çok duvarlı karbon nanotüplerinin aramid/epoksi hibrit

kompozitlere eklenmesiyle, aramid elyaf ve epoksi matris arasındaki arayüzey yapışmasını artırarak, çekme, eğilme ve darbe mukavemetini sırasıyla %46, %74 ve %31,2 oranında, çekme ve eğilme modülünü ise %22,1 ve %54 oranında arttırdığını tespit etmişlerdir. Ayrıca %0,3 ten fazla karbon nanotüplerinin topaklanma meydana getirdiği için mekanik özelliklerde azalma eğilimine girdiğini belirlemişlerdir. (Devi et al., 2023), %3,5 oranına kadar nanokilin tek yönlü cam elyaf takviyeli kompozitlerde çekme, eğilme ve kırılma mukavemetini iyileştirdiğini gözlemlemişlerdir.

2.2. Termal özellik

(Nazeer et al., 2020), %0,1 oranındaki grafinin, bakır-titanyum karbür kompozitlere eklenmesiyle termal iletkenlik değerlerinin arttırdığını tespit etmişlerdir. (Ruan et al., 2020), %0,4 oranındaki grafin ve iyonik bir sıvının poliamid kompozitlerde cam geçiş sıcaklığını 14°C arttırdığını gözlemlemişlerdir. (Chen & Han., 2020), çok duvarlı karbon nanotüplerin tane sınırları nedeniyle elastik olmayan fonon saçılımı olasılığını azaltabileceğini bundan dolayı da polimer kompozit malzemeler için daha yüksek bir termal iletkenlik sağlayacağını gözlemlemişlerdir. (Dong et al., 2005), %10 oranındaki Al_2O_3 nanopartiküllerinin polimer kompozitlere eklenmesiyle termal iletkenlik değerlerini %23 oranında iyileşme sağladığını tespit etmişlerdir. Al_2O_3 nanopartiküllerinin ısı iletim katsayısının polimer matris elemanından daha yüksek olması iletkenliğin artmasındaki en önemli nedendir. (Gao & Zhao., 2000), farklı nanopartiküller üzerinde yaptıkları çalışmada nanopartiküllerin kompozit içerisinde ısı iletim zincirleri oluşturduğunu ve ısı iletim katsayısının arttırdığını tespit etmişlerdir.

2.3. Elektrik ve optik özellik

Nanomalzemeler ve polimer kompozitlerin özellikleri birleştirilirse biyosensörler, şarj edilebilir piller, gaz sensörleri, süper kapasitörler, yakıt hücreleri, termoelektrik cihazlar, fonksiyonel membranlar, kapasitörler ve yapay kaslar nanokompozitlerin elektrikselsel ve optik olarak geniş bir uygulama alanı sunar (Sulami et al., 2024; Sahin, H., & Yalınkılıç, M. 2017).

(Rudenko et al., 2024), çok duvarlı karbon nanotüplerinin kompozitlerin elektrik iletkenliği üzerine yaptıkları çalışmada %7,5 oranında karbon nanotüplerinin kompozitlerde elektrik iletkenliğini arttırdığını tespit etmişlerdir. (Tan et al., 2016), Ağırılıkça %5 çok duvarlı karbon nanotüplerinin

polivinil klorür, poli ve polistiren matrisleri ile harmanlayarak hibrit nanokompozitlerinin elektrik iletkenliğini arttırdığını tespit etmiştir.

(Alzaidy., 2024), Al_2O_3 ve TiO_2 nanopartiküllerini karıştırarak polivinil alkol/polietilen glikol nanokompozitlerinin optik ve elektriksel özelliklerine etkisi üzerine yaptığı çalışmada, nanopartiküllerin elektrik ve optik özelliğini arttırdığını, optoelektronik cihazlarda kullanılabileceğini tespit etmişlerdir. (Abbas et al., 2024), Kobalt-Çinko ferritlerine %2,5 oranında grafen katılmasının mükemmel elektriksel ve termoelektrik özellikleri geliştirdiğini tespit etmişlerdir.

3.Nanomalzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

Nano malzemelerin birçok avantajı bulunmaktadır. Bu malzemeler, kompozitlerin mekanik, kimyasal, fiziksel, termal ve elektriksel özelliklerini iyileştirebilir. Yüksek en-boy oranlarına sahip olmaları, düşük yoğunlukları ve yüksek yüzey alanları sayesinde üstün performans gösterirler. Ancak nanomalzemelerin üretimi ve işlenmesi genellikle maliyetlidir ve sağlık açısından bazı riskler taşır.

Avantajlar:

- Yüksek mekanik dayanım
- Düşük yoğunluk
- Yüksek yüzey alanı
- İyi elektrik ve ısı iletkenliği
- Çok yönlü kullanım alanları

Dezavantajlar:

- Yüksek üretim maliyetleri
- Sağlık ve çevre riskleri
- Üretim ve işleme zorlukları

4.Sonuç

Nanomalzemelerin kompozitlere eklenmesi, bu malzemelerin performansını önemli ölçüde artırabilir. Özellikle enerji, tıp, otomotiv ve havacılık gibi sektörlerde nanokompozitlerin kullanımı, daha hafif, daha dayanıklı ve daha verimli malzemelerin geliştirilmesine olanak tanır. Ancak, nanomalzemelerin üretim ve işlenmesi konusundaki maliyetler ve sağlık

riskleri göz önünde bulundurularak, bu malzemelerin daha geniş bir ölçekte kullanımı için yeni teknolojilerin ve güvenlik protokollerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

Nanomalzemelerin kompozitlerdeki etkileri üzerine yapılan araştırmalar, bu malzemelerin gelecekteki uygulama alanlarını genişletecek ve yeni nesil malzemelerin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

Kaynaklar

- Abbas, N., Zhang, J. M., Ikram, M., Ibrahim, A. A., Nazir, S., Ali, I., ... & Akhtar, H. (2024). Investigation of structural, electrical and thermoelectric properties of cobalt-zinc ferrites/graphene nanocomposite. *Results in Physics*, 59, 107576.
- Al-Sulami, A. I., Alruqi, A. B., Algethami, N., AlSulami, F. M. H., Aldahiri, R. H., Al-Ghamdi, A. A., & Rajeh, A. (2024). Nanocomposites comprising PVA/CMC matrix and CNTs/Fe₂O₃ nanohybrid: A comparative investigation of structural, optical, electrical, and dielectric properties as an application in advanced electrochemical and optoelectronic devices. *Materials Chemistry and Physics*, 315, 128971.
- Alzaidy, G. A. (2024). Impact of hybrid aluminum oxide/titanium dioxide nanoparticles on the structural, optical, and electrical properties of polyvinyl alcohol/polyethylene glycol nanocomposites for flexible optoelectronic devices. *Ceramics International*.
- Chen, J., & Han, J. (2020). Effect of hydroxylated carbon nanotubes on the thermal and electrical properties of derived epoxy composite materials. *Results in Physics*, 18, 103246.
- Devi, P. A., Reddy, P. R., & Prasad, K. E. (2023). Effect of weight of Nanoclay on Tensile, Flexure and Toughness properties of Glass Epoxy composites. *Materials Today: Proceedings*.
- Dong, H., Fan, L., and Wong, C. P., (2005). Effect of interface on thermal conductivity of polymer composite. In *Proceedings Electronic Components and Technology, 2005. ECTC'05.* (pp. 1451-1454). IEEE.
- Gao, Z., and Zhao, L., (2015). Effect of nano-fillers on the thermal conductivity of epoxy composites with micro-Al₂O₃ particles. *Materials & Design* (1980-2015), 66, 176-182.
- Gommans, H. H., Alldredge, J. W., Tashiro, H., Park, J., Magnuson, J., & Rinzler, A. G. (2000). Fibers of aligned single-walled carbon nanotubes: Polarized Raman spectroscopy. *Journal of Applied Physics*, 88(5), 2509-2514.
- Gudkov, S. V., Burmistrov, D. E., Smirnova, V. V., Semenova, A. A., & Lisitsyn, A. B. (2022). A Mini Review of Antibacterial Properties of Al₂O₃ Nanoparticles. *Nanomaterials* 2022, 12, 2635.

- Guven, C., Kisa, M., Demircan, G., Ozen, M., & Kirar, E. (2024). Effect of seawater aging on mechanical, buckling, structural, and thermal properties of nano Al₂O₃ and TiO₂-doped glass-epoxy nanocomposites. *Polymer Composites*, 45(8), 7376-7390.
- Güven, C., Kısa, M., Özen, M., & Demircan, G. (2022). Al₂O₃ ve TiO₂ nanopartikül katkısının cam elyaf takviyeli kompozitlerin mekanik özelliklerine ve burkulma davranışına etkisi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 7(3), 161-172.
<https://shop.nanografi.com.tr/blografi/nanopartikuller-ozellikleri-ve-uygulama-alanlari/>
- Joshi, M., & Chatterjee, U. (2016). Polymer nanocomposite: an advanced material for aerospace applications. In *Advanced composite materials for aerospace engineering* (pp. 241-264). Woodhead Publishing.
- Kırar, E., Kısa, M., Özen, M., & Demircan, G. (2023). Yapay Deniz Suyu Ortamında Yaşlandırılan Kompozit Plakanın Düzlem içi Çekme ve Basma Davranışının Sonlu Elemanlar Metodu ile Nümerik Analizi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 8(1), 17-26.
- Kırar, E., Kısa, M., Özen, M., & Demircan, G. (2023). Deniz suyu yaşlandırmasının cam epoksi kompozitlerdeki kayma dayanımına etkisi. Presented at the 4. Baskent International Conference on Multidisciplinary Studies.
- Kırar, E., Kısa, M., Ozen, M., Demircan, G., & Guven, C. (2024). Mechanical properties of glass/epoxy composites under artificial seawater environment: Numerical simulation and experimental validation. *Marine Structures*, 98, 103679.
- Kumar, M. S., Selvan, C. P., Santhanam, K., Kadirvel, A., Chandraprabu, V., & SampathKumar, L. (2022). Effect of nanomaterials on tribological and mechanical properties of polymer nanocomposite materials. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2022, 1-16.
- Li, X., Yu, J., Wageh, S., Al-Ghamdi, A. A., & Xie, J. (2016). Graphene in photocatalysis: a review. *Small*, 12(48), 6640-6696.
- Mc Crum, N.G., Buckley, C.P., Bucknall, C.B., (1996). Principles of Polymer Engineering. Oxford Science, New York.
- M. Hosokawa, K. Nogi, M. Naito, and T. Yokoyama, *Nanoparticle Technology Handbook*, Elsevier Science, Oxford, UK, 2007.

- Nazeer, F., Ma, Z., Gao, L., Malik, A., Khan, M. A., Abrar, S., ... & Li, H. (2020). Effect of graphene on thermal and mechanical properties of copper-titanium carbide composites. *Vacuum*, *173*, 109100.
- Popov, V. N. (2004). Carbon nanotubes: properties and application. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, *43*(3), 61-102.
- Rafiee, R., & Shahzadi, R. (2019). Mechanical properties of nanoclay and nanoclay reinforced polymers: a review. *Polymer Composites*, *40*(2), 431-445.
- Ruan, H., Zhang, Q., Liao, W., Li, Y., Huang, X., Xu, X., & Lu, S. (2020). Enhancing tribological, mechanical, and thermal properties of polyimide composites by the synergistic effect between graphene and ionic liquid. *Materials & Design*, *189*, 108527.
- Rudenko, R. M., Voitsihovska, O. O., Abakumov, A. A., Nikolenko, A. S., & Poroshin, V. M. (2024). Effect of carbon nanotubes on the electrical properties of ternary PVDF/PANI/MWCNT nanocomposite in a wide temperature range of 4.2–340 K. *Diamond and Related Materials*, 110924.
- Sahin, H. (2014). Effects of microwaves on the germination of weed seeds. *Journal of Biosystems Engineering*, *39*(4), 304-309.
- Sahin, H., & Yalınkılıç, M. (2017). Using electric current as a weed control method. *European Journal of Engineering and Technology Research*, *2*(6), 59-64.
- Sahin, H. (2020). Investigating the effect of single and multiple electrodes on mortality ratio in electric current weed control method with NDVI technique. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, *35*(4), 1973–1984. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.698307>
- Şahin, H. (2021). Mikrodalga ile yabancı ot kontrolü yönteminde farklı kabin boyutlarının mortalite oranına ve enerji yoğunluğuna etkisinin araştırılması. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, *6*(2), 80–90.
- Sahin, H. (2022). Investigation of the effectiveness of AC/DC electric current as a weed control method using NDVI technique. *Advances in Weed Science*, *40*. <https://doi.org/10.51694/AdvWeedSci/2022;40:00018>
- Sang, L., Zhao, Y., & Burda, C. (2014). TiO₂ nanoparticles as functional building blocks. *Chemical reviews*, *114*(19), 9283-9318.

- Suresha, B., Indushekhara, N. M., Varun, C. A., Sachin, D., & Pranao, K. (2021). Effect of carbon nanotubes reinforcement on mechanical properties of aramid/epoxy hybrid composites. *Materials Today: Proceedings*, 43, 1478-1484.
- Tan, H. X., & Xu, X. C. (2016). Conductive properties and mechanism of various polymers doped with carbon nanotube/polyaniline hybrid nanoparticles. *Composites Science and Technology*, 128, 155-160.
- Theodore, M., Hosur, M., Thomas, J., & Jeelani, S. (2011). Influence of functionalization on properties of MWCNT–epoxy nanocomposites. *Materials Science and Engineering: A*, 528(3), 1192-1200.
- Thostenson, E. T., Ren, Z., & Chou, T. W. (2001). Advances in the science and technology of carbon nanotubes and their composites: a review. *Composites science and technology*, 61(13), 1899-1912.
- Thostenson, E., Li, C., Chou, T., (2005). Review nanocomposites in context. *Journal of Composites. Science & Technology* 65, 491e516.
- Zemtsova, E. G., Monin, A. V., Smirnov, V. M., Semenov, B. N., & Morozov, N. F. (2015). Formation and mechanical properties of alumina ceramics based on Al₂O₃ micro-and nanoparticles. *Physical Mesomechanics*, 18, 134-138.

BÖLÜM 8

HAFİF NADİR TOPRAK ELEMENTLERİNİN UYGULAMA ALANLARI VE NANOTEKNOLOJİ ALANINDA DEĞERLENDİRİLMESİ

Dr. SümeYra CAN¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.13647062>

¹ Bayburt Üniversitesi, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, OptisYenlik Programı, Bayburt, Türkiye, sumeyrasacakli@bayburt.edu.tr, ORCID ID 0000-0002-2471-5786

Giriş

Nadir Toprak Elementlerinin keşfi 18.yy'da başlamıştır. Bu elementlerin keşfiyle birlikte oksitlerinin metale indirgenmesinin zor olması ve doğada benzer özelliklere sahip elementlerin bulunmaması “Nadir Toprak Elementleri (NTE)” olarak adlandırılmalarını sağlamıştır.

NTE'ler genellikle lantanitler olarak bilinen ve atom numaraları 57-71 arasında değişen elementleri içeren bir grup elementi ifade eder. Bu elementler hafif ve ağır nadir toprak elementleri olmak üzere iki gruba ayrılır. Hafif nadir toprak elementleri arasında Lantan (La), Seryum (Ce), Praseodim (Pr), Neodimyum (Nd), Prometyum (Pm) ve Samaryum (Sm) bulunurken, ağır nadir toprak elementleri arasında ise Evropiyum (Eu), Gadolinyum (Gd), Terbiyum (Tb), Disprozyum (Dy), Holmiyum (Ho), Erbium (Er), Tulyum (Tm), İterbiyum (Yb), Lutesyum (Lu) ve Ytterbiyum (Yb) yer alır (Christmann, 2014).

Nanobilim ve nanoteknolojinin temel taşı olan nanomalzemelerin kullanım alanları dünya çapında hızla büyüyen bir araştırma odağı haline gelmiştir. Arzu edilen malzemelerin ve ürünlerin elde edilmesinde şekil ve işlevsellik yönünden önemli bir potansiyel barındırmaktadırlar. Günümüzde popüler olan bu malzemelerin ilerleyen zamanlarda önemli bir ticaret unsuru olacağına kesin gözüyle bakılmaktadır. Nanomalzemelerin hem benzersiz manyetik, elektriksel, optik ve diğer özellikleri hem de öncelikle tıp alanı olmak üzere elektronik ve diğer alanlarda kullanılmaları onları daha da ilgi çekici hale getirmektedir.

NTE'ler yüksek teknolojik ürünlerin üretiminde önemli bir rol oynamaktadır. Bu elementler, korozyona karşı dirençli ve yüksek sıcaklığa dayanıklı olduğundan özellikle savunma sanayi ve yüksek teknoloji gerektiren sektörlerde kullanılmaktadır (Celep ve ark., 2020). Bu elementlerin geri kazanımı da önemli bir konudur ve çevre dostu atık su arıtımı gibi yöntemler ile yapılabilmektedir (Palas ve ark., 2017). Ayrıca NTE'lerin kazanılması ve işlenmesi, hidrometalurjik yöntemlerle gerçekleştirilebilmektedir (Tanaydın, 2021). NTE'lerin biyolojik sistemlerdeki etkileri ve kullanım alanları üzerine yapılan araştırmalar geniş bir uygulama yelpazesine sahip olduklarını göstermektedir.

NTE'ler benzersiz fiziksel ve kimyasal özellikleri sayesinde çok çeşitli modern cihaz ve teknolojilerde temel bileşen olmasına neden olmuştur. Elektrik

motorlarında, jeneratörlerde, elektrikli araçlarda ve rüzgâr türbinlerinde bulunan yüksek enerji yoğunluklu sabit mıknatıslarda kullanılabilirler (Bonificio & Clarke, 2016). Ayrıca bataryalarda, güneş panellerinde, süper iletkenlerde, katalitik dönüştürücülerde ve süper mıknatıslarda kilit rol oynarlar (Hostert ve ark., 2023).

Teknolojide NTE'lere olan talebi karşılamak için ekstraksiyon ve işleme yöntemlerinde ilerlemeler kaydedilmiştir. Mikroakışkan çözücü ekstraksiyonu gibi teknikler, karışık oksit konsantrasyonlarından NTE'lerin verimli bir şekilde ekstraksiyonu için geliştirilmiştir (Kolar ve ark., 2016). Membran bazlı solvent ekstraksiyon süreçleri de NTE zenginleştirilmesi için araştırılmıştır (Makertiharta ve ark., 2017). Diğer yandan nadir toprak ayrıştırması için sürdürülebilir bir yaklaşım olarak bakteri kullanan mikrobiyal destekli ayrıştırma süreçleri hakkında çalışmalar yapılmaktadır (Bonificio & Clarke, 2016).

NTE'lerin teknolojideki kritik önemi, sürdürülebilir yönetim uygulamaları ve geri dönüşüm yöntemleri üzerine çalışmalar yapılmasının yolunu açmıştır. Sürdürülebilir uygulamalar özellikle ileri teknolojiler için istikrarlı bir tedarik zinciri sağlamak açısından çok önemlidir (Drost & Wang, 2016). NTE içeren sabit mıknatısların geri dönüşümü, potansiyel tedarik aksaklıklarını gidermek için uygun bir strateji olarak tanımlanmıştır (Nlebedim & King, 2017). NTE'lerin farklı özellikleri, malzeme tasarımı ve işlemede de yeniliklere yol açmıştır. Örneğin; hidrojen sıvılaştırma için hafif nadir toprak intermetalik bileşiklerle manyetokalorik malzemelerin tasarlanması, belirli uygulamalar için NTE'lerin özelliklerinden yararlanıldığını göstermektedir (Liu ve ark., 2023). Ayrıca, yüklü nadir toprak komplekslerinde dönme dinamiklerinin atomik olarak hassas kontrolünün geliştirilmesi, spintronik cihazlardan kuantum bilimine kadar ileri teknolojilerde NTE'lerin potansiyelini göstermektedir (Ajayi ve ark., 2022).

Nadir toprak elementleri, tüketici elektroniğinden temiz enerji teknolojilerine kadar uzanan uygulamalarıyla modern teknolojinin vazgeçilmezlerinden olmuştur. Bu alanda devam eden araştırma ve geliştirme çalışmaları, NTE kullanımını optimize etmeyi, sürdürülebilir bir tedarik zinciri sağlamayı ve çeşitli teknolojik sektörlerde inovasyonu teşvik etmeyi amaçlamaktadır.

Hafif Nadir Toprak Elementleri

Bu elementler aydınlatma ve elektronikten hidrojen sıvılaştırma ve tıbbi araştırmalara kadar çeşitli teknolojik uygulamalarda vazgeçilmez olmuştur. Devam eden araştırmalar elde edilme yöntemlerini optimize etmeye, yeni uygulamaları keşfetmeye ve bu temel elementler için sürdürülebilir yönetim uygulamaları sağlamaya odaklanmaktadır.

Hafif nadir toprak elementleri, periyodik tablonun alt sırasında yer alan ve nadir toprak elementleri grubuna dâhil olan bir grup elementtir. Bu elementler genellikle 57. (Lantanitler) ve 71. (Aktinitler) gruplar arasında bulunur ve periyodik tablonun alt sıralarında yer alırlar. Bazıları, özellikle lantanitler, ender bulunabildikleri için "nadir" olarak adlandırılırlar. Hafif nadir toprak elementleri arasında lantan, seryum, praseodim, neodimyum, prometyum ve samaryum elementleri bulunur. Bunlar, manyetik özellikleri, optik özellikleri ve katalitik özellikleri gibi çeşitli endüstriyel ve bilimsel uygulamalarda önemlidir. Bu elementler nadir bulunmalarına rağmen bazıları endüstriyel işlemlerden geçirilerek çeşitli yüksek teknoloji uygulamalarında kullanılır. Örneğin, manyetik alanlarda kullanılan güçlü mıknatısların yapımında nadir toprak elementleri kritik bir rol oynar. Ayrıca lazerler, optik cihazlar ve katalizörler gibi birçok uygulamada da kullanılırlar. Bu özelliklerinden dolayı hafif nadir toprak elementleri modern endüstriyel ve teknolojik gelişmelerde önemli bir rol oynarlar.

1. Lantan (La)

Lantan, atom numarası 57 ve sembolü La olan kimyasal bir elementtir. Lantanit serisinin ilk elementidir ve yer kabuğunda az bulunması nedeniyle nadir toprak elementi olarak sınıflandırılır. İlk defa 1839 yılında İsveçli kimyager Carl Gustaf Mosander tarafından keşfedilmiştir. Lantan (La), çeşitli endüstriyel ve tarımsal uygulamalara sahip nadir bir toprak eser metalidir.

Tıp, malzeme bilimi ve kimya gibi farklı alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Lantan (La) toksikolojik etkileri ve biyolojik dokulardaki birikim şekilleri açısından da değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmalar hücre kültürlerinde ve hayvan modellerinde lantan oksitlerin toksisitesini vurgulamıştır (Lim, 2015). Tıp alanında lantan, kronik böbrek hastalığında fosfat bağlayıcı rolü nedeniyle araştırılmıştır. Çalışmalar lantan karbonatın böbrek yetmezliği olan hastalarda fosfat metabolizması bozukluklarını etkili bir

şekilde yönetebileceği bildirilmiştir (Drüeke, 2007). Ancak lantanın in vivo kalsiyum benzeri etkilerine dair sınırlı kanıt bulunmaktadır (Drüeke, 2007). Lantan birikimi mide ve özofagus dahil olmak üzere çeşitli dokularda tespit edilmiş olup, lantan fosfat birikimi ve buna bağlı gastropati gibi durumlara yol açtığı bildirilmiştir (Hoda ve ark., 2017; Yamada ve ark., 2019). Çalışmalar ayrıca lantanın insan lenfositleri üzerindeki etkilerini araştırmış ve potansiyel DNA hasarına işaret etmiştir (Paiva ve ark., 2008).

Malzeme biliminde, lantan farklı uygulamalar için çeşitli kompozitlere ve nanomalzemelere dâhil edilmiştir. Örneğin, lantan oksit nanopartikülleri kemik onarımı ve osseointegrasyon için kolajen bazlı biyokompozitlerde takviye edilmiştir (Vijayan ve ark., 2023). Lantan seratlar, gelişmiş iyonik iletkenlikleri nedeniyle umut verici elektrokatalizörler olarak kabul edilmektedir (Butt ve ark., 2022). Lantan (La) nanoteknolojide özellikle çevresel iyileştirme ve su arıtma uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Çalışmalar La-201 nanokompozit adsorban gibi nano boyutlu hidratlı La(III) oksidin, sudan fosfat giderimi için yüksek kapasite ve spesifik affinite gösterdiğini ve su kirliliği sorunlarını ele alma potansiyelini ortaya koyduğunu göstermiştir (Zhang ve ark., 2016). Diğer yandan başka çalışmalarda lantan oksit yüklü aktif karbon fiberin sudan fosfat giderimindeki etkinliği araştırılmış ve lantan bazlı nanomalzemelerin su arıtma süreçlerindeki çok yönlülüğü ortaya koymuştur (Zhang ve ark., 2011). Lantan bazlı malzemeler, özellikle atık sulardan fosfat iyonlarının giderilmesinde güçlü adsorpsiyon özellikleriyle bilinmektedir (Zheng ve ark., 2021). Lantanın nanoteknolojik ilerlemelere katkısı seçici ve yüksek fosfat giderimi için serbest duran biyo-şablon mezogözenekli hibrit filmlerin geliştirilmesine kadar uzanmakta ve çevresel iyileştirme için yenilikçi malzemeler yaratmadaki uyarlanabilirliğinin altını çizmektedir (Zheng ve ark., 2016).

Kataliz ve malzeme bilimi alanında lantan hidroksit (La(OH)₃) seramik, süper iletken malzemeler, hidrojen depolama malzemeleri ve elektrot malzemelerindeki katalitik özellikleri için kullanılmıştır (Mu ve ark., 2009; Mu ve Wang, 2011). Lantanın PVC ürünleri gibi malzemelere dahil edilmesi nadir toprak elementleri için önemli bir son kullanım pazarını temsil etmektedir (Goodenough ve ark., 2017). Tarımda ise Lantan bitki büyümesi ve verim oluşumu üzerindeki etkileri açısından incelenmiştir. Çalışmalar Lantan'ın aromatik pirinçte 2-asetil-1-pirolin gibi bileşiklerin büyümesini, verimi ve

biyosentezini artırabileceğini göstermiştir (Luo ve ark., 2021). Ayrıca Lantan, *Alternaria solani* gibi bitki hastalıklarını kontrol etme potansiyeli açısından araştırılmış ve tarımdaki çok yönlülüğünü göstermiştir (Solino ve ark., 2021).

Lantan (La)'ın kataliz, tarım, çevresel iyileştirme ve tıp alanlarındaki geniş kapsamlı uygulamaları, çeşitli bilimsel disiplinlerdeki önemini vurgulamakta ve onu çeşitli faydalara sahip değerli bir element haline getirmektedir.

2. Seryum (Ce)

Seryum (Ce), atom numarası 58 ve sembolü Ce olan kimyasal bir elementtir. Periyodik tabloda nadir toprak metalleri grubuna ait bir lantanit elementi olarak sınıflandırılır. Seryumun özellikleri ve kullanım alanları onu endüstriyel ve teknolojik açıdan önemli bir element haline getirmektedir. Seryum oksit elektrokimya, optik ve kataliz gibi alanlardaki katalitik özellikleri nedeniyle büyük ilgi görmüştür (Mai ve ark., 2005).

Malzeme biliminde seryum oksit nanopartikülleri, özellikle biyoaktif camlarda katalitik özellikleri için kapsamlı bir şekilde çalışılmış, malzeme mühendisliği ve anti-bakteriyel uygulamalardaki katkıları vurgulanmıştır (Zambon ve ark., 2021; Lusvardi ve ark., 2022). Seryum (Ce) nanoteknolojik uygulamalarda ise özellikle kataliz, biyotıp ve çevresel iyileştirme alanlarında değerli bir elementtir. Seryum oksit nanopartikülleri, antioksidan özellikleri ve potansiyel biyomedikal uygulamaları için kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır (Xu & Qu, 2014; Kim ve ark., 2023). Bu nanopartiküller, oksijen eksikliği olan metal oksit yapılarıyla bilinmektedir ve bu da onları umut verici terapötik antioksidanlar haline getirmektedir (Kim ve ark., 2023). Diğer yandan çalışmalar seryum oksit nanopartiküllerinin yetişkin sıçan omurilik nöronlarına koruma sağlayabildiğini ve potansiyel nöroprotektif özelliklere işaret ettiğini göstermiştir (Das ve ark., 2007). Çevresel uygulamalarda seryum oksit nanopartikülleri, özellikle yakıt hücrelerinde ve yakıt katkı maddelerinde katalitik özellikleri açısından araştırıldığında yeşil teknolojilerin ve sürdürülebilir enerji çözümlerinin geliştirilmesindeki önemini ortaya koymuştur (Dahle & Arai, 2015). Ayrıca çalışmalar seryum oksit nanopartiküllerinin anti-enflamatuar özelliklerini vurgulamış, reaktif oksijen türlerini temizleme ve enflamatuar tepkileri modüle etme yeteneklerini göstermiştir (Hirst ve ark., 2009). Bu özellikler onları biyomedikal uygulamalar

için anti-enflamatuar ajanlar ve materyaller geliştirmek için değerli kılmaktadır. Diğer yandan doku iskelelerinde redoks modülasyonlu nano seryum kullanımının kök hücre osteogenezini teşvik ettiği ve bakteriyel kolonizasyonu azalttığı bulunmuştur ve bu da seryumun doku mühendisliği ve rejeneratif tıp alanındaki potansiyelinin altını çizmektedir (Nilawar & Chatterjee, 2021).

Biyomedikal alanda ise seryum oksit nanopartikülleri antioksidan özellikleri ve hastalıklarla ilgili araştırmalarda potansiyel uygulamaları nedeniyle dikkat çekmektedir. Yapılan çalışmalar seryum oksit nanopartiküllerinin kardiyak progenitör hücreleri oksidatif streten koruduğunu ve kök hücre araştırmalarında ve miyokardiyal sağlıkta faydalı olduğunu göstermiştir (Bai, 2024). Ayrıca seryum oksit nanozimleri, oksidatif hasarla ilgili hastalıklarda ileri biyolojik uygulamaları için araştırılmış ve seryumun çeşitli biyomedikal potansiyeli vurgulanmıştır (Bai, 2024). Pagliari ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada seryum oksit nanopartiküllerinin kardiyak progenitör hücreler üzerinde oksidatif streten koruyucu etkilerini göstererek kök hücre araştırmalarında ve miyokardiyal sağlıkta potansiyel uygulamalara işaret etmiştir. Ayrıca seryum oksit nanopartiküllerinin redoksa bağlı anti-apoptotik etkileri araştırılmış ve seryumun çeşitli biyolojik uygulamaları sergilenmiştir (Celardo ve ark., 2011).

Seryumun nadir toprak elementleri arasındaki bolluğu fizik, kimya ve malzeme bilimi de dâhil olmak üzere çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmasına yol açmıştır. Özet olarak seryumun kataliz, malzeme bilimi, çevresel iyileştirme ve biyotıp alanlarındaki uygulamaları, bilimsel disiplinler arasında geniş kullanım alanına sahip çok yönlü bir element olarak öneminin altını çizmektedir.

3. Praseodim (Pr)

Praseodim (Pr), atom numarası 59 ve sembolü Pr olan kimyasal bir elementtir. Periyodik tabloda nadir toprak metalleri grubuna ait bir lantanit elementi olarak sınıflandırılır.

Praseodim (Pr) nanoteknolojik uygulamalarda, özellikle de gelişmiş malzemelerin ve fonksiyonel nanokompozitlerin geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Praseodim oksit nanopartikülleri, su bazlı epoksi kaplamaların aktif korozyon korumasını artırma potansiyelleri açısından

araştırılmış ve yüksek korozyon önleme etkinliği göstermiştir (Tang ve ark., 2023). Bu praseodimyumun çeşitli endüstriyel ve çevresel ortamlarda gerekli olan koruyucu kaplamaların performansını ve dayanıklılığını artırmadaki öneminin altını çizmektedir. Ek olarak praseodim, verimli lityum-iyon depolama için katot malzemelerindeki parçacıkları rafine etmek ve bağları güçlendirmek için kafes mühendisliği bağlamında araştırılmıştır (Tan ve ark., 2022). Çalışmalar praseodimyumun bu malzemelere dâhil edilmesinin difüzyon yollarını etkileme ve enerji depolama cihazlarının kararlılığını ve performansını artırma yeteneğini gösteren, karışım ile negatif bir korelasyonla ilişkili olduğunu göstermiştir. Ayrıca praseodim, kaplamaların aktif korozyon korumasını artırmak için halloysite@polyanilin nanopartikülleri gibi nanokompozitlerin üretiminde kullanılmış ve çeşitli uygulamalar için gelişmiş malzemeler yaratma potansiyelini göstermiştir (Tang ve ark., 2023). Bu nanokompozitlerde praseodim katyonlarının kullanımının, kaplamaların korozyon direncini artırdığı kanıtlanmış ve fonksiyonel malzemelerin tasarımında praseodimyumun çok yönlülüğünü vurgulamıştır.

Kataliz ve çevre kimyasında ise Praseodim, organik kirleticilerin sulu çözeltilerden uzaklaştırılması için heterojen katalitik ozonlamada kullanımı için araştırılmıştır (He ve ark., 2010). Ek olarak, araştırmalar Praseodim'in üç değerlikli lantanitlerin klorür komplekslerinin kararlılığını etkilediğini ve farklı iyonik ortamlarda lantanit kimyasının anlaşılmasına katkıda bulunduğunu göstermiştir (Fernández-Ramírez,†,‡ vd., 2008). Praseodimyumun biyomedikal uygulamaları arasında anjiyogenez ve kutanöz yara iyileşmesinde kök hücre farklılaşması için biyomimetik iskelelere dahil edilmesi, rejeneratif tıp ve doku mühendisliğindeki olumlu katkıları da vurgulanmaktadır (Lu ve ark., 2023). Praseodim bileşikleri brakiterapi uygulamaları için aktinyum katkılı Praseodim borür ince filmlerin biriktirilmesinde aktinyum-225 için uçucu taşıyıcılar olarak potansiyel kullanımları açısından araştırılmış ve tıbbi tedavilerdeki çok yönlülüklerini göstermiştir (Daly ve ark., 2022).

Özet olarak, Praseodimyum'un kataliz, malzeme bilimi, çevresel iyileştirme ve biyotıp alanlarındaki çeşitli uygulamaları, bilimsel disiplinler arasında geniş kullanım alanına sahip çok yönlü bir element olarak öneminin altını çizmektedir.

4. Neodimyum (Nd)

Neodimyum (Nd), atom numarası 60 ve sembolü Nd olan kimyasal bir elementtir. Periyodik tablonun lantanit serisine aittir. Neodimyumun en iyi bilinen kullanımlarından biri, ticari olarak mevcut olan en güçlü kalıcı mıknatıs türü olan neodimyum mıknatısların üretimidir.

Malzeme bilimi ve nanoteknolojide neodimyum çeşitli uygulamalar için nanoparçacıkların sentezinde kullanılmaktadır. Örneğin, neodim katkılı LaF₃ nanopartikülleri doku altı termal algılamada kullanılmış olup moleküler görüntüleme ve nanotıp alanlarında umut vaat etmektedir (Rocha ve ark., 2013). Neodimyum oksit nano yapılar da optik ve elektriksel özellikleri açısından araştırılmış ve ışıldayan malzemeler, koruyucu kaplamalar ve katalizörlerdeki uygulamalar için uygun hale getirilmiştir (Mortazavi-Derazkola ve ark., 2015; Zinatloo-Ajabshir ve ark., 2017). Neodimyum (Nd) aynı zamanda çeşitli nanoteknolojik uygulamalarda, özellikle de elektrikli araçlar ve rüzgar türbinleri gibi teknolojilerin temel bileşenleri olan NdFeB mıknatısları gibi nadir toprak mıknatıslarının üretiminde önemli bir rol oynamaktadır (Alonso ve ark., 2012). Neodimyum elementinin bulunabilme kıtlığı ve yüksek performanslı mıknatıslara olan yüksek talep nedeniyle kritik bir nadir toprak elementi olarak kabul edilmektedir (Sprecher ve ark., 2014a). NdFeB sabit mıknatıslardaki kullanımda olan neodim stoklarının küresel tahminleri, teknolojik gelişmelerdeki önemini vurgulamaktadır (Du & Graedel, 2011). Neodimyum ayrıca manyetik tıbbi cihazlar ve temiz enerji çözümleri için yüksek talep görmektedir ve bu da en son teknolojilerdeki önemli rolünü göstermektedir (Yeh, 2023). Diğer yandan Neodimyumun özellikleri, nanoteknolojik yeniliklerdeki çok yönlülüğünü gösteren altın nanorod/neodimyum oksit kompozitleri gibi gelişmiş malzemelerin geliştirilmesinde kullanılmıştır (Zhang ve ark., 2018). Ayrıca neodimyum, polimer bağlı mıknatıslar ve ince filmler gibi uygulamalarda kullanılan çeşitli alaşımlarda ve nanokompozitlerde bulunmakta olup nanoteknoloji alanındaki önemini daha da sağlamlaştırmaktadır (Grujić ve ark., 2012; Que ve ark., 2001). Çalışmalar neodimyumun geri kazanımı için midyeden ilham alan nanoselüloz kaplamalar gibi yenilikçi yaklaşımlar da dâhil olmak üzere neodimyumun seçici olarak geri kazanılması ve kullanılmasına yönelik yöntemleri araştırmaktadır (Yeh, 2023). Ayrıca okyanuslardaki neodim izotoplarının jeokimyasal dengesi üzerine yapılan çalışmalar, neodimyumun çevresel

süreçlerdeki rolüne ilişkin içgörüler sağlamıştır (Bertram ve Elderfield, 1993). Genel olarak, neodimyumun benzersiz özellikleri ve nanoteknolojideki uygulamaları, teknolojik ilerlemeleri ve sürdürülebilirlik çabalarını yönlendirmedeki kritik rolünün altını çizmektedir. Çevre biliminde, neodimyum sürdürülebilir teknolojilerde önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle elektronik atıklardan elde edilen neodimyum mıknatıslardaki geri dönüşüm potansiyeli, kaynakların korunması ve çevresel etkinin azaltılması için hayati önem taşımaktadır (Sprecher ve ark., 2014b; Walton ve ark., 2015).

Biyomedikal alanda neodimyum antibakteriyel özelliklere sahip kitosan-graft-poli (N-terciyer butilakrilamid) kompozitlerine dahil edilerek mikrobiyal enfeksiyonlarla mücadele için biyomedikal uygulamalardaki potansiyelini ortaya koymaktadır (Yazdıç ve ark., 2023). Ek olarak neodim bileşikleri mikroorganizmalara karşı toksisite göstermiştir, bu da antimikrobiyal uygulamalardaki potansiyellerini göstermektedir (Qasim & Khan, 2022).

Özetle, neodimyumun malzeme bilimi, çevre bilimi, nanoteknoloji, paleoklimatoloji ve biyotıp alanlarındaki uygulamaları, bilimsel disiplinler arasında çeşitli faydalara sahip çok yönlü bir element olarak önemini vurgulamaktadır.

5. Prometyum (Pm)

Prometyum (Pm), atom numarası 61 ve sembolü Pm olan kimyasal bir elementtir. Nadir bir toprak metalidir ve lantanit serisinde kararlı izotopu olmayan iki elementten biridir. Prometyum 1945 yılında Jacob A. Marinsky, Lawrence E. Glendenin ve Charles D. Coryell tarafından Berkeley'deki Kaliforniya Üniversitesi'nde keşfedilmiştir. Diğer nadir toprak elementlerinin aksine, prometyum kararlı izotoplara sahip değildir. Kararlı izotoplarının olmaması nedeniyle, prometyum Dünya'da doğal olarak önemli miktarlarda bulunmaz. Radyoaktif doğası ve kıtlığı nedeniyle, prometyum nanoteknolojik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmamaktadır. Aslında çalışmalar prometyumun radyoaktivitesi nedeniyle araştırma için hazırlanan örneklerden kasıtlı olarak çıkarıldığını vurgulamaktadır (Harbuzaru ve ark., 2008). Esas olarak uranyum veya plütonyumun ışınlanması yoluyla nükleer reaktörlerde üretilir. Prometyum, radyoaktivitesi ve azlığı nedeniyle sınırlı pratik uygulamalara sahiptir. Bununla birlikte özel nükleer pillerde, kalınlık ölçerlerde ve parlak boyalarda kullanılmıştır.

Przybylski'nin yıldızı gibi gök cisimlerinde prometyumun olası varlığı üzerine yapılan araştırmalar sonuçsuz kalmış, varlığını kesin olarak doğrulamakta zorluklar yaşanmıştır (Cowley ve ark., 2004; Andrievsky ve ark., 2023). Prometyumun benzersiz özellikleri ve sınırlı oluşumu, özellikle kararlılık ve güvenliğin en önemli hususlar olduğu nanoteknolojide pratik uygulamalarında zorluklar yaratmaktadır (Harbuzaru ve ark., 2008). Nanoteknolojik gelişmeler bağlamında, prometyumun doğal bollukta bulunmaması ve kararlı izotoplarının olmaması, nanomalzemelerde ve nano cihazlarda doğrudan kullanımını sınırlamaktadır. Nanoteknolojide odak noktası, geliştirilen teknolojilerin güvenilirliğini ve güvenliğini sağlamak için daha kararlı ve öngörülebilir özelliklere sahip elementler olmuştur (Harbuzaru ve ark., 2008). Bu nedenle prometyumun ilgi çekici özellikleri ve yıldızlar gibi belirli ortamlardaki potansiyel varlığı bilimsel merak uyandırırken, radyoaktivitesi ve kıtlığı Dünya'daki pratik nanoteknolojik uygulamalarda yaygın kullanımını engellemektedir. Bununla birlikte çalışmalar Prometyum'un alt doku termal algılama ve moleküler görüntüleme potansiyel kullanımını araştırarak nanotipteki olası uygulamalarına işaret etmektedir (Elkina & Kurushkin, 2020).

Çevre biliminde Prometyum, kıtlığı ve yapay yapısı nedeniyle doğal ortamda nadiren bulunur. Atmosferdeki toz ve su kaynakları kirliliği analizinde bulunmaması, jeolojik oluşumlarda ve topraklarda sınırlı varlığının altını çizmektedir (Ebrahimi & Barbieri, 2019). Ayrıca Prometyum izotopları, su kütlesi menşesindeki geçmiş varyasyonların bir temsilcisi olarak kullanılmış olup paleoklimatoloji ve yer bilimleri alanındaki çalışmalara katkıda bulunmuştur. Biyomedikal alanda, Prometyum'un kitosan-graft-poli (N-tersiyer butilakrilamid) kompozitlerine dâhil edildiğinde potansiyel antibakteriyel özellikleri açısından araştırılmış olup, mikrobiyal enfeksiyonlarla mücadelede olası bir uygulama olarak önerilmektedir. Ancak radyoaktif yapısı ve kısa yarı ömrü nedeniyle Prometyum deneysel çalışmalar ve uygulamalarda zorluklar yaratmaktadır (Studer ve ark., 2020).

Prometyum'un doğadaki sınırlı varlığı, radyoaktif özellikleri ve kararlı izotopların bulunmaması, uygulamalarını ve araştırma odağını etkileyerek onu bilimsel araştırmalarda özel değerlendirmeler gerektiren benzersiz bir unsur haline getiriyor.

6. Samaryum (Sm)

Samaryum (Sm), atom numarası 62 ve sembolü Sm olan kimyasal bir elementtir. Periyodik tablodaki lantanit serisinin bir parçasıdır ve nadir toprak metali olarak sınıflandırılır. Samaryum adını ilk kez izole edildiği samarskit mineralinden alır.

Samaryum (Sm) çeşitli nanoteknolojik uygulamalarda, özellikle de gelişmiş malzemelerin ve nanokompozitlerin geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Çalışmalar özelliklerini geliştirmek için samaryumun farklı malzemelere entegrasyonunu araştırmıştır. Örneğin, dielektrik özellikleri iyileştirmek için samaryumun sodyum potasyum niobat ince filmlere dâhil edilmesini incelemiştir (Azlan, 2018). Dielektrik ve piezoelektrik özellikleri geliştirmek için PZT gibi malzemelerde samaryum ikamesi incelenmiştir (Juneja ve ark., 2002). Ayrıca lazer ablasyon yoluyla samaryum oksit nanopartiküllerinin üretimi, yüksek yerel radyoizotop konsantrasyonları elde etme imkanı sunarak nükleer nanotıp uygulamalarında potansiyel göstermiştir (Popova-Kuznetsova ve ark., 2019). Samaryumla modifiye edilmiş bizmut titanat filmlerden yapılan kapasitörler, enerji depolama uygulamaları için potansiyel gösteren önemli spontan polarizasyonlar gösterecek şekilde geliştirilmiştir (Chon ve ark., 2001). Samaryumun iyonik sıvılardaki elektrokimyasal davranışı incelenmiş ve enerji depolama ve dönüştürme teknolojilerindeki uygulamalar için umut vaat ettiği görülmüştür (Manjum ve ark., 2019; Andrew ve ark., 2022). Ayrıca samaryum bazlı bileşikler fotokimyasal özellikleri açısından araştırılmış ve heterojen katalizörler olarak potansiyelleri ortaya konmuştur (Hodgson ve ark., 2015). Samaryum-organik çerçevelerin çok işlevli yetenekleri, floresan algılama ve elektrokimyasal algılama uygulamaları için kullanılmıştır (Zhang ve ark., 2021). Sonuç olarak, samaryumun ayırt edici özellikleri ve nanoteknolojideki çok yönlü uygulamaları, malzeme bilimi, enerji depolama, algılama teknolojileri ve nükleer nanotıbbın ilerlemesindeki öneminin altını çizmektedir. Samaryum katkılı ZnO nanopartikülleri yapısal, morfolojik, optik ve manyetik özellikleri açısından incelendiğinde biyomedikal görüntüleme ve manyetik uygulamalardaki özellikleri de öne çıkmaktadır (Badreddine ve ark., 2018). Samaryum diiyodür ve Samaryum (II) iyodür gibi Samaryum bileşikleri, organik dönüşümler ve katalizdeki önemlerini gösteren toplam sentez reaksiyonlarında ve çapraz bağlama reaksiyonlarında kullanılmıştır (Evans ve

ark., 2005; Zitz ve ark., 2015). Giesbrecht ve Gordon (2004) yaptıkları çalışmada TiO₂ gibi malzemelerin görünür ışık aktivitesini ko-doping yoluyla artırmadaki rolü nedeniyle araştırılmış ve fotokataliz ve çevresel iyileştirmedeki potansiyelini ortaya koymuştur. Samaryum, kompozitlere dahil edildiğinde potansiyel antibakteriyel özellikleri açısından araştırılmıştır, bu da mikrobiyal enfeksiyonlarla mücadele için biyomedikal uygulamalardaki faydasını göstermektedir (Clark ve ark., 2002). Liu ve ark. (2015) samaryumu elektrokimyasal davranışı ve elektrodpozisyon süreçleri açısından incelenmiş, elektrokimya ve malzeme bilimindeki uygulamaları vurgulanmıştır. Biyomedikal araştırma alanında Samaryum, kitosan-graft-poli (N-terciyer butilakrilamid) kompozitleri gibi malzemelerin antibakteriyel özelliklerini geliştirme potansiyeli açısından araştırılmış ve mikrobiyal enfeksiyonlarla mücadelede faydalı olduğu öne sürülmüştür (Wisshak ve ark., 2006).

Bu özellikler ve uygulama alanları, Samaryum'un kimya ve malzeme biliminden çevre bilimine, enerji uygulamalarına ve biyotıbbaya kadar çeşitli bilimsel disiplinlerdeki çok yönlülüğünün ve öneminin altını çizmektedir.

Sonuç

Lantan (La), seryum (Ce), praseodim (Pr), neodim (Nd), prometyum (Pm) ve samaryum (Sm) gibi hafif nadir toprak elementleri çeşitli nanoteknolojik uygulamalarda önemli bir rol oynamaktadır. Bu elementler kimyasal olarak tek tiptir ve onları nanoteknolojide değerli kılan benzersiz özelliklere sahiptir. Çalışmalar, hafif nadir toprak elementlerinin daha yüksek bolluklarının, alaşımlarını manyetokalorik hidrojen sıvılaştırma gibi uygulamalar için oldukça cazip hale getirdiğini göstermiştir. Ayrıca, hafif nadir toprak elementleri manyetokalorik malzemelerin tasarımında kullanılmış ve yenilikçi teknolojilerdeki potansiyellerini göstermiştir. Sonuç olarak, hafif nadir toprak elementleri nanoteknolojik gelişmelerde önemli bir rol oynamakta ve malzeme bilimi, enerji teknolojileri, çevre çalışmaları ve ötesinde geniş bir uygulama yelpazesi sunmaktadır.

Referanslar

- Andrew, C., Murugesan, C., & Jayakumar, M. (2022). Electrochemical behavior of sm(iii) and electrodeposition of samarium from 1-butyl-1-methylpyrrolidinium dicyanamide ionic liquid. *Journal of the Electrochemical Society*, 169(2), 022503. <https://doi.org/10.1149/1945-7111/ac4f76>
- Andrievsky, S. M., & Kovtyukh, V. V. (2023). Probing the Przybylski star for deuterium. *Astronomische Nachrichten*, 344(3), e220133.
- Alonso, E., Sherman, A., Wallington, T., Everson, M., Field, F., Roth, R., ... & Kirchain, R. (2012). Evaluating rare earth element availability: a case with revolutionary demand from clean technologies. *Environmental Science & Technology*, 46(6), 3406-3414. <https://doi.org/10.1021/es203518d>
- Ajayi, T. M., Singh, V., Latt, K. Z., Sarkar, S., Cheng, X., Premarathna, S., ... & Hla, S. (2022). Atomically precise control of rotational dynamics in charged rare-earth complexes on a metal surface. *Nature Communications*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-33897-3>
- Azlan, U. (2018). Dielectric properties of samarium doped- sodium potassium niobate thin films. *Research & Development in Material Science*, 3(3). <https://doi.org/10.31031/rdms.2018.03.000562>
- Badreddine, K., Kazah, I., Rekaby, M., & Awad, R. (2018). Structural, morphological, optical, and room temperature magnetic characterization on pure and sm-doped zno nanoparticles. *Journal of Nanomaterials*, 2018, 1-11. <https://doi.org/10.1155/2018/7096195>
- Bai, Y. (2024). Advanced biological applications of cerium oxide nanozymes in disease related to oxidative damage. *Acs Omega*, 9(8), 8601-8614. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c03661>
- Bertram, C. and Elderfield, H. (1993). The geochemical balance of the rare earth elements and neodymium isotopes in the oceans. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 57(9), 1957-1986. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(93\)90087-d](https://doi.org/10.1016/0016-7037(93)90087-d)
- Bonificio, W. D. and Clarke, D. R. (2016). Rare-earth separation using bacteria. *Environmental Science & Technology Letters*, 3(4), 180-184. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.6b00064>

- Butt, T., Erum, S., Mujtaba, A., & Medvedev, D. (2022). Nickel-doped lanthanum cerate nanomaterials as highly active electrocatalysts. *Frontiers in Chemistry*, 10. <https://doi.org/10.3389/fchem.2022.1064906>
- Celep, O., Yazıcı, E., & Deveci, H. (2020). Nadir toprak elementlerinin birincil ve ikincil kaynaklardan üretimi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.765981>
- Celardo, I., Nicola, M., Mandoli, C., Pedersen, J., Traversa, E., & Ghibelli, L. (2011). Ce³⁺ ions determine redox-dependent anti-apoptotic effect of cerium oxide nanoparticles. *Acs Nano*, 5(6), 4537-4549. <https://doi.org/10.1021/nn200126a>
- Chon, U., Kim, K., Jang, H., & Yi, G. (2001). Fatigue-free samarium-modified bismuth titanate (Bi₄-xSm_xTi₃O₁₂) film capacitors having large spontaneous polarizations. *Applied Physics Letters*, 79(19), 3137-3139. <https://doi.org/10.1063/1.1415353>
- Clark, D. L., Gordon, J. C., Hay, P. J., Martin, R. L., & Poli, R. (2002). Dft study of tris(bis(trimethylsilyl)methyl)lanthanum and -samarium. *Organometallics*, 21(23), 5000-5006. <https://doi.org/10.1021/om0205061>
- Cowley, C. R., Bidelman, W. P., Hubrig, S., Mathys, G., & Bord, D. J. (2004). On the possible presence of promethium in the spectra of HD 101065 (Przybylski's star) and HD 965. *Astronomy & Astrophysics*, 419(3), 1087-1093.
- Dahle, J. and Arai, Y. (2015). Environmental geochemistry of cerium: applications and toxicology of cerium oxide nanoparticles. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(2), 1253-1278. <https://doi.org/10.3390/ijerph120201253>
- Daly, S., Bellott, B., McAlister, D., Horwitz, E., & Girolami, G. (2022). Pr(h₃bnme₂bh₃)₃ and pr(thd)₃ as volatile carriers for actinium-225. deposition of actinium-doped praseodymium boride thin films for potential use in brachytherapy. *Inorganic Chemistry*, 61(19), 7217-7221. <https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.2c00442>
- Das, M., Patil, S., Bhargava, N., Kang, J., Riedel, L., Seal, S., ... & Hickman, J. (2007). Auto-catalytic ceria nanoparticles offer neuroprotection to adult rat spinal cord neurons. *Biomaterials*, 28(10), 1918-1925. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2006.11.036>

- Drüeke, T. (2007). Phosphorus metabolism and management in chronic kidney disease: lanthanum carbonate as a first-line phosphate binder: the “cons”. *Seminars in Dialysis*, 20(4), 329-332. <https://doi.org/10.1111/j.1525-139x.2007.00299.x>
- Drost, D. and Wang, R. (2016). Rare earth element criticality and sustainable management. *Proceedings of the 2015 4th International Conference on Sensors, Measurement and Intelligent Materials*. <https://doi.org/10.2991/icsmim-15.2016.168>
- Du, X. and Graedel, T. (2011). Global rare earth in-use stocks in ndfeb permanent magnets. *Journal of Industrial Ecology*, 15(6), 836-843. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00362.x>
- Ebrahimi, P. and Barbieri, M. (2019). Gadolinium as an emerging microcontaminant in water resources: threats and opportunities. *Geosciences*, 9(2), 93. <https://doi.org/10.3390/geosciences9020093>
- Elkina, V. and Kurushkin, M. (2020). Promethium: to strive, to seek, to find and not to yield. *Frontiers in Chemistry*, 8. <https://doi.org/10.3389/fchem.2020.00588>
- Evans, W. J., Perotti, J. M., Kozimor, S. A., Champagne, T. M., Davis, B. L., Nyce, G. W., ... & Johnston, M. C. (2005). Synthesis and comparative η^1 -alkyl and sterically induced reduction reactivity of (c5me5)3ln complexes of la, ce, pr, nd, and sm. *Organometallics*, 24(16), 3916-3931. <https://doi.org/10.1021/om0504021>
- Fernández-Ramírez,†,‡, E., Jiménez-Reyes, M., & Solache-Ríos, M. (2008). Effects of ionic strength and charge density on the stability of chloride complexes of trivalent lanthanides. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 53(8), 1756-1761. <https://doi.org/10.1021/jc800095c>
- Giesbrecht, G. R. and Gordon, J. C. (2004). Lanthanide alkylidene and imido complexes. *Dalton Transactions*, (16), 2387. <https://doi.org/10.1039/b407173e>
- Goodenough, K., Wall, F., & Merriman, D. (2017). The rare earth elements: demand, global resources, and challenges for resourcing future generations. *Natural Resources Research*, 27(2), 201-216. <https://doi.org/10.1007/s11053-017-9336-5>

- Grujić, A., Ćosović, V., Ćosović, A., & Stajić-Trošić, J. (2012). Nanocrystalline nd-fe-b alloys for polymer-bonded magnets production. *Isrn Nanotechnology*, 2012, 1-6. <https://doi.org/10.5402/2012/438436>
- Harbuzaru, B. V., Corma, A., Rey, F., Atienzar, P., Jordá, J. L., García, H., ... & Rocha, J. (2008). Metal–organic nanoporous structures with anisotropic photoluminescence and magnetic properties and their use as sensors. *Angewandte Chemie International Edition*, 47(6), 1080-1083.
- He, Z., Zhang, A., Song, S., Liu, Z., Chen, J., Xu, X., ... & Liu, W. (2010). Γ - Al_2O_3 modified with praseodymium: an application in the heterogeneous catalytic ozonation of succinic acid in aqueous solution. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 49(24), 12345-12351. <https://doi.org/10.1021/ie101233h>
- Hirst, S., Karakoti, A., Tyler, R., Sriranganathan, N., Seal, S., & Reilly, C. (2009). Anti-inflammatory properties of cerium oxide nanoparticles. *Small*, 5(24), 2848-2856. <https://doi.org/10.1002/sml.200901048>
- Hoda, R., Sanyal, S., Abraham, J., Everett, J., Hundemer, G., Yee, E., ... & Misdraji, J. (2017). Lanthanum deposition from oral lanthanum carbonate in the upper gastrointestinal tract. *Histopathology*, 70(7), 1072-1078. <https://doi.org/10.1111/his.13178>
- Hodgson, G., Impellizzeri, S., Hallett-Tapley, G., & Scaiano, J. (2015). Photochemical synthesis and characterization of novel samarium oxide nanoparticles: toward a heterogeneous brønsted acid catalyst. *RSC Advances*, 5(5), 3728-3732. <https://doi.org/10.1039/c4ra14841j>
- Hostert, J. D., Sepesy, M. R., Duval, C. E., & Renner, J. N. (2023). Clickable polymer scaffolds enable ce recovery with peptide ligands. *Soft Matter*, 19(15), 2823-2831. <https://doi.org/10.1039/d2sm01664h>
- Juneja, J., Prakash, C., Thakur, O., & Sharma, T. (2002). Dielectric and piezoelectric properties of pzt substituted with samarium. *Ferroelectrics Letters Section*, 29(3-4), 11-16. <https://doi.org/10.1080/07315170214361>
- Kim, Y., Lee, Y., Lee, J., Soh, M., Kim, D., & Hyeon, T. (2023). Ceria-based therapeutic antioxidants for biomedical applications. *Advanced Materials*, 36(10). <https://doi.org/10.1002/adma.202210819>
- Kolar, E., Catthoor, R., Kriel, F. H., Sedev, R., Middlemas, S., Klier, E., ... & Priest, C. (2016). Microfluidic solvent extraction of rare earth elements

- from a mixed oxide concentrate leach solution using cyanex® 572. *Chemical Engineering Science*, 148, 212-218. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2016.04.009>
- Lim, C. (2015). Toxicity of two different sized lanthanum oxides in cultured cells and sprague-dawley rats. *Toxicological Research*, 31(2), 181-189. <https://doi.org/10.5487/tr.2015.31.2.181>
- Liu, W., Gottschall, T., Scheibel, F., Bykov, E., Fortunato, N. M., Aubert, A., ... & Gutfleisch, O. (2023). Designing magnetocaloric materials for hydrogen liquefaction with light rare-earth laves phases. *Journal of Physics: Energy*, 5(3), 034001. <https://doi.org/10.1088/2515-7655/accb0b>
- Lu, X., Huang, J., Xie, H., Huang, W., Sun, Z., Zhang, D., ... & Wang, M. (2023). The enhanced photocatalytic performance of pr doped cu₂o under visible light. *Chemistryselect*, 8(27). <https://doi.org/10.1002/slct.202204756>
- Luo, H., Chen, Y., He, L., & Tang, X. (2021). Lanthanum (la) improves growth, yield formation and 2-acetyl-1-pyrroline biosynthesis in aromatic rice (*oryza sativa* l.). *BMC Plant Biology*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s12870-021-03006-5>
- Lusvardi, G., Fraulini, F., D'Addato, S., & Zambon, A. (2022). Loading with biomolecules modulates the antioxidant activity of cerium-doped bioactive glasses. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, 8(7), 2890-2898. <https://doi.org/10.1021/acsbmaterials.2c00283>
- Makertiharta, I. G. B. N., Dharmawijaya, P. T., Zunita, M., & Wenten, I. G. (2017). Rare earth element enrichment using membrane based solvent extraction. *AIP Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1063/1.4974442>
- Mai, H., Sun, L., Zhang, Y., Si, R., Feng, W., Zhang, H., ... & Yan, C. (2005). Shape-selective synthesis and oxygen storage behavior of ceria nanopolyhedra, nanorods, and nanocubes. *The Journal of Physical Chemistry B*, 109(51), 24380-24385. <https://doi.org/10.1021/jp055584b>
- Manjum, M., Tachikawa, N., Serizawa, N., & Katayama, Y. (2019). Electrochemical behavior of samarium species in an amide-type ionic liquid at different temperatures. *Journal of the Electrochemical Society*, 166(12), D483-D486. <https://doi.org/10.1149/2.0141912jes>

- Mortazavi-Derazkola, S., Zinatloo-Ajabshir, S., & Salavati-Niasari, M. (2015). New sodium dodecyl sulfate-assisted preparation of Nd_2O_3 nanostructures via a simple route. *RSC Advances*, 5(70), 56666-56676. <https://doi.org/10.1039/c5ra08394j>
- Mu, Q., Chen, T., & Wang, Y. (2009). Synthesis, characterization and photoluminescence of lanthanum hydroxide nanorods by a simple route at room temperature. *Nanotechnology*, 20(34), 345602. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/20/34/345602>
- Mu, Q. and Wang, Y. (2011). Synthesis, characterization, shape-preserved transformation, and optical properties of $\text{La}(\text{OH})_3$, $\text{La}_2\text{O}_2\text{CO}_3$, and La_2O_3 nanorods. *Journal of Alloys and Compounds*, 509(2), 396-401. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2010.09.041>
- Nlebedim, I. C. and King, A. H. (2017). Addressing criticality in rare earth elements via permanent magnets recycling. *Jom*, 70(2), 115-123. <https://doi.org/10.1007/s11837-017-2698-7>
- Nilawar, S. and Chatterjee, K. (2021). Surface decoration of redox-modulating nanocerium on 3d-printed tissue scaffolds promotes stem cell osteogenesis and attenuates bacterial colonization. *Biomacromolecules*, 23(1), 226-239. <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.1c01235>
- Pagliari, F., Mandoli, C., Forte, G., Magnani, E., Pagliari, S., Nardone, G., ... & Traversa, E. (2012). Cerium oxide nanoparticles protect cardiac progenitor cells from oxidative stress. *ACS Nano*, 6(5), 3767-3775. <https://doi.org/10.1021/nn2048069>
- Paiva, A., Oliveira, M., Yunes, S., Oliveira, L., Cabral-Neto, J., & Almeida, C. (2008). Effects of lanthanum on human lymphocytes viability and dna strand break. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 82(4), 423-427. <https://doi.org/10.1007/s00128-008-9596-1>
- Palas, B., Ersöz, G., & Atalay, S. (2017). Çevre dostu atıksu arıtımı yöntemleri ile mikrokirletici giderimi kinetiğinin incelenmesi: LaFeO_3 perovskit tipi katalizör varlığında metilen mavisinin fenton benzeri oksidasyonu. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(4), 1181-1192. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.369536>
- Popova-Kuznetsova, E., Tikhonowski, G., Popov, A., Дуфлот, B., Deyev, S., Klimentov, S., ... & Kabashin, A. (2019). Laser-ablative synthesis of isotope-enriched samarium oxide nanoparticles for nuclear

- nanomedicine. *Nanomaterials*, 10(1), 69.
<https://doi.org/10.3390/nano10010069>
- Qasim, M. and Khan, S. (2022). Detection and relative quantification of neodymium in sillai patti carbonatite using decision tree classification of the hyperspectral data. *Sensors*, 22(19), 7537.
<https://doi.org/10.3390/s22197537>
- Que, W., Kam, C., Zhou, Y., Lam, Y., & Chan, Y. (2001). Yellow-to-violet upconversion in neodymium oxide nanocrystal/titania/ormosil composite sol-gel thin films derived at low temperature. *Journal of Applied Physics*, 90(9), 4865-4867. <https://doi.org/10.1063/1.1408262>
- Rocha, U., Silva, C., Silva, W., Guedes, I., Benayas, A., Maestro, L., ... & Jaque, D. (2013). Subtissue thermal sensing based on neodymium-doped LaF_3 nanoparticles. *Acs Nano*, 7(2), 1188-1199.
<https://doi.org/10.1021/nn304373q>
- Solino, A., Oliveira, J., Cesnik, S., & Schwan-Estrada, K. (2021). Lanthanum in vitro control of *alternaria solani* and induction resistance mechanism against blight tomato plant. *Revista Verde De Agroecologia E Desenvolvimento Sustentável*, 16(2), 153-158.
<https://doi.org/10.18378/rvads.v16i2.8342>
- Sprecher, B., Xiao, Y., Walton, A., Speight, J., Harris, R., Kleijn, R., ... & Kramer, G. (2014a). Life cycle inventory of the production of rare earths and the subsequent production of neodymium permanent magnets. *Environmental Science & Technology*, 48(7), 3951-3958.
<https://doi.org/10.1021/es404596q>
- Sprecher, B., Kleijn, R., & Kramer, G. (2014b). Recycling potential of neodymium: the case of computer hard disk drives. *Environmental Science & Technology*, 48(16), 9506-9513.
<https://doi.org/10.1021/es501572z>
- Studer, D., Ulrich, J., Braccini, S., Carzaniga, T., Dressler, R., Eberhardt, K., ... & Wendt, K. (2020). High-resolution laser resonance ionization spectroscopy of $^{143-147}\text{Nd}$. *The European Physical Journal A*, 56(2). <https://doi.org/10.1140/epja/s10050-020-00061-8>
- Tanaydın, M. K. (2021). Hidrometalurjik yöntemlerle nadir toprak elementlerinin kazanılması. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 7(2), 288-304. <https://doi.org/10.29132/ijpas.908824>

- Tan, Z., Li, Y., Xi, X., Jiang, S., Li, X., Shen, X., ... & He, Z. (2022). Lattice engineering to refine particles and strengthen bonds of the $\text{LiNi}_{0.9}\text{Co}_{0.05}\text{Mn}_{0.05}\text{O}_2$ cathode toward efficient lithium ion storage. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 10(11), 3532-3545. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.1c07941>
- Tang, G., Chen, C., Wu, D., Zhang, Y., Ren, T., Hou, X., ... & Fan, L. (2023). Halloysite@polyaniline nanoparticles loaded with the praseodymium (iii) cation for improving active corrosion protection of waterborne epoxy coating. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 15(27), 32839-32851. <https://doi.org/10.1021/acsami.3c03461>
- Vijayan, V., Sreekumar, S., Ahina, K., Lakra, R., & Kiran, M. (2023). Lanthanum oxide nanoparticles reinforced collagen κ -carrageenan hydroxyapatite biocomposite as angio-osteogenic biomaterial for in vivo osseointegration and bone repair. *Advanced Biology*, 7(8). <https://doi.org/10.1002/adbi.202300039>
- Walton, A., Yi, H., Rowson, N., Speight, J., Mann, V., Sheridan, R., ... & Williams, A. (2015). The use of hydrogen to separate and recycle neodymium-iron-boron-type magnets from electronic waste. *Journal of Cleaner Production*, 104, 236-241. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.033>
- Wisshak, K., Voss, F., Käppeler, F., Krtička, M., Raman, S., Mengoni, A., ... & Gallino, R. (2006). Stellar neutron capture cross section of the unstable-process branching points m_{151} . *Physical Review C*, 73(1). <https://doi.org/10.1103/physrevc.73.015802>
- Xu, C. and Qu, X. (2014). Cerium oxide nanoparticle: a remarkably versatile rare earth nanomaterial for biological applications. *NPG Asia Materials*, 6(3), e90-e90. <https://doi.org/10.1038/am.2013.88>
- Yamada, T., Oyama, T., Tomori, A., Takahashi, A., Kametani, K., Shiozawa, S., ... & Shimoda, T. (2019). Distribution of lanthanum carbonate in the gastric mucosa confirmed by electron microscopy with a magnified endoscopy: a case report and literature review. *Clinical Journal of Gastroenterology*, 13(3), 365-371. <https://doi.org/10.1007/s12328-019-01076-5>
- Yazdıç, F., Karaman, A., Torğut, G., & Ayhan, N. (2023). Antibacterial activity of novel synthesized chitosan-graft-poly(n-tertiary

- butylacrylamide)/neodymium composites for biomedical application. *Journal of Basic Microbiology*, 63(9), 1049-1056. <https://doi.org/10.1002/jobm.202300004>
- Yeh, S. (2023). Mussel-inspired nanocellulose coating for selective neodymium recovery. *Acs Applied Materials & Interfaces*, 15(37), 44154-44166. <https://doi.org/10.1021/acsami.3c04512>
- Zambon, A., Malavasi, G., Pallini, A., Fraulini, F., & Lusvardi, G. (2021). Cerium containing bioactive glasses: a review. *Acs Biomaterials Science & Engineering*, 7(9), 4388-4401. <https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.1c00414>
- Zhang, G., Gao, L., Hong-mei, C., & Ren, Y. (2021). Novel multifunctional samarium-organic framework for fluorescence sensing of Ag^+ , MnO_4^- , and cimetidine and electrochemical sensing of o-nitrophenol in aqueous solutions. *Acs Omega*, 6(10), 6810-6816. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c05867>
- Zhang, L., Wan, L., Chang, N., Liu, J., Duan, C., Zhou, Q., ... & Wang, X. (2011). Removal of phosphate from water by activated carbon fiber loaded with lanthanum oxide. *Journal of Hazardous Materials*, 190(1-3), 848-855. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.04.021>
- Zhang, Y., Pan, B., Shan, C., & Gao, X. (2016). Enhanced phosphate removal by nanosized hydrated $La(III)$ oxide confined in cross-linked polystyrene networks. *Environmental Science & Technology*, 50(3), 1447-1454. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b04630>
- Zhang, Y., Wang, J., Nan, F., & Wang, Q. (2018). Synthesis of gold nanorod/neodymium oxide yolk/shell composite with plasmon-enhanced near-infrared luminescence. *RSC Advances*, 8(36), 20056-20060. <https://doi.org/10.1039/c8ra01342j>
- Zheng, D., Yao, R., Sun, C., Zheng, Y., & Liu, C. (2021). Highly efficient low-concentration phosphate removal from effluents by recoverable $La(OH)_3$ /foamed nickel adsorbent. *Acs Omega*, 6(8), 5399-5407. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c05489>
- Zheng, X., Pan, J., Zhang, F., Liu, E., & Shi, W. (2016). Fabrication of free-standing bio-template mesoporous hybrid film for high and selective phosphate removal. *Chemical Engineering Journal*, 284, 879-887. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.09.033>

- Zinatloo-Ajabshir, S., Mortazavi-Derazkola, S., & Salavati-Niasari, M. (2017). Nd₂O₃ nanostructures: simple synthesis, characterization and its photocatalytic degradation of methylene blue. *Journal of Molecular Liquids*, 234, 430-436. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.03.115>
- Zitz, R., Arp, H., Hlina, J., Walewska, M., Marschner, C., Szilvási, T., ... & Baumgartner, J. (2015). Open-shell lanthanide(ii+) or -(iii+) complexes bearing σ -silyl and silylene ligands: synthesis, structure, and bonding analysis. *Inorganic Chemistry*, 54(7), 3306-3315. <https://doi.org/10.1021/ic502991p>



ISBN: 978-625-367-812-8